



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



SPECIÁLNÍ VLÁKENNÉ STRUKTURY PRO FILTRACI KAPALIN

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství

Studijní obor: 3901T073 – Produktové inženýrství

Autor práce: **Bc. Lada Zikmundová, DiS.**

Vedoucí práce: Ing. Jakub Hřůza, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



A SPECIAL FIBER STRUCTURES FOR LIQUID FILTRATION

Diploma thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3901T073 – Product Engineering

Author: **Bc. Lada Zikmundová, DiS.**
Supervisor: Ing. Jakub Hruza, Ph.D.



Originalzadani

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych velmi ráda poděkovala panu Ing. Jakubu Hrůzovi, Ph.D. za podnětné nápady, profesionální přístup a odborné vedení mé diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala paní doc. Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za poskytnuté konzultace a cenné připomínky. Děkuji své rodině a přátelům, kteří mi byli po celou dobu studia oporou.

Speciální vlákenné struktury pro filtraci kapalin

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá speciálními vlákennými strukturami pro filtraci kapalin.

Cílem této práce je sledovat změnu strukturních parametrů filtračního materiálu v průběhu jeho použití. Porovnat nový materiál, v našem případě tkaný a kombinaci tkaného a netkaného materiálu, za účelem nalezení nejvhodnějšího materiálu s ohledem na požadované vlastnosti, životnost a tyto informace předat k porovnání s dalšími parametry.

První část je věnována klasifikaci filtrace, jejím parametrům, filtračním zařízením a materiálům pro filtraci.

V experimentální části jsou uvedeny použité materiály filtračních plachetek. Jsou popsány postupy měření a zařízení, která byla použita ke zjištění konkrétních vlastností, jakými jsou velikost pórů, prodyšnost a pokrytí plochy.

KLÍČOVÁ SLOVA:

- Filtrace
- Filtrační vlastnosti a parametry
- Kapalinová filtrace
- Filtrační plachetky

A special fiber structures for liquid filtration

ANNOTATION

This diploma deals with special fibrous structures for liquid filtration. The aim of this thesis is follow up to the chase in structural parameters of filter material during its use. Compare new material, in our case a combination of woven and woven and nonwoven material, in order to find the most suitable material considering desired properties, durability and submit this informatik to Compaq with other parameters.

The first part is dedicated to classifying filtration, the parameters and the filter device for filtration materials.

In the experimental section lists the materials used filtration sail. They are describe the measurement procedures and equipment that was used to identify specific properties such as pore size, breathability and coverage area.

KEYWORDS:

- Filtration
- Filtration properties and parameters
- Liquid filtration
- Filtration sail

Obsah

Úvod.....	12
1 Filtrace	13
1.1 Klasifikace filtrace	13
1.1.1 Hnací síly.....	13
1.1.2 Mechanismus filtrace.....	13
1.1.3 Produkt	14
1.1.4 Pracovní cyklus	15
1.3 Filtrační média	15
1.3.1 Mechanismy filtrace	15
1.3.2 Použité technologie výroby	15
1.3.3 Konstrukce filtrů.....	20
2 Parametry filtrace.....	22
2.1 Hlavní parametry filtrace	22
2.1.1 Parametry filtračního materiálu	22
3 Parametry vláken	25
3.1 Průměr	25
3.2 Jemnost.....	25
3.3 Zakrytí filtru	25
3.4 Prodyšnost	25
3.5 Porozita a průměr mezivláčenného póru.....	26
3.5.1 Porozita.....	26
3.5.2 Objem pórů	26
3.5.3 Povrch vláken	27
3.5.4 Povrch pórů	27
3.5.5 Tvar mezivláčenných pórů:	28
3.5.6 Obvod příčného řezu pórem	28
3.5.7 Povrch pórů	28
3.6 Odolnost vůči vnějším vlivům	29
4 Filtrační vlastnosti.....	30
4.1 Efektivnost (účinnost) filtru	30
4.2 Tlakový spád	30
4.3 Průnik filtru	31

4.4 Výtěžek filtrace	31
4.5 Filtrační rychlost	31
4.6 Faktory ovlivňující rychlost filtrace:.....	31
5 Filtrační zařízení	32
5.1 Kalolis	32
5.2 Odstředivka	33
5.3 Vakuový filtr	34
6 Zpracovatelský průmysl a filtrace vody.....	35
6.1 Zpracovatelský průmysl	35
6.2 Filtrace vody.....	36
7 Představení firem	37
7.1 Zitex s.r.o.	37
7.1.1 Historie	37
7.1.2 Orientace firmy na trhu	37
7.1.3 Certifikát.....	37
7.1.4 Clutex	38
7.1.5 Nabídka firmy.....	38
7.2 LB Minerals s.r.o.....	38
7.2.1 Historie	38
7.2.2 Orientace firmy.....	39
7.2.3 Nabídka firmy.....	39
7.2.4 Cíle firmy.....	39
8 Experimentální část.....	40
8.1 Použité materiály.....	41
8.1.1 Netkaná textilie kompozitní	41
8.1.2 Netkaná textilie – kompozitní	43
8.1.3 Tkanina	44
8.1.4 Ukázka materiálu používaného v jiných keramických závodech.....	45
8.2 Výpočet intervalu spolehlivosti pomocí Hornova postupu	46
8.3 Velikost pórů.....	47
8.3.1 Příprava vzorků	47
8.3.2 Postup měření	47
8.3.3 Vyhodnocení a diskuze výsledků	48

8.4 Prodyšnost	50
8.4.1 Příprava vzorků	50
8.4.2 Postup měření	51
8.4.3 Vyhodnocení a diskuze výsledků	52
8.4.4 Shrnutí naměřených dat POP bílý	53
8.4.5 Shrnutí naměřených dat POP zelený	58
8.4.6 Shrnutí naměřených dat PAD	64
8.5 Pokrytí plochy	69
8.5.1 Příprava vzorků	69
8.5.2 Postup měření	69
8.6 Vyhodnocení experimentální části	72
9 Závěr	73
Seznam použité literatury	75
Seznam obrázků	77
Seznam tabulek	78
Význam použitých značek	79

Úvod

Obecně lze filtraci popsat jako proces oddělování rozptýlených pevných látek z kapalin a plynů. Vlastnosti filtrů jsou ovlivněny strukturou, složením a povrchovou úpravou filtračního média, dále také suspenzí a zařízením, na kterém je filtrace prováděna.

Cílem této práce je sledovat vývoj strukturních parametrů filtračního materiálu v průběhu jeho použití. Porovnat tkaný a kombinaci tkaného a netkaného materiálu, za účelem nalezení nejvhodnějšího materiálu s ohledem na požadované vlastnosti, životnost a ekonomickou stránku.

V první části práce je definováno, co je filtrace, její složky, parametry a vlastnosti. V experimentální části jsou napsány přípravy, postupy a výsledky měření.

V rámci úspor ve výrobním procesu při výrobě kaolínu, hledají keramické závody možnosti použití jiného filtračního materiálu než stávajícího. Požadavkem je zjištění vhodnosti jiného materiálu, co se týká jeho filtračních schopností (propustnost filtrátu, afinita filtrátu na plachetce) a jeho životnosti.

Vzhledem k tomu, že reálné filtry byly zkoušeny v reálném prostředí, byla zde nutná spolupráce s firmami z dané oblasti průmyslu. Použité filtrační plachetky byly poskytnuty firmami Zitex s.r.o. a LB Minerals, tyto firmy jsou dále představeny v textu.

1 Filtrace

Filtrace se používá pro zadržování nebo oddělování pevných látek z kapalin nebo plynů pomocí filtrů.

1.1 Klasifikace filtrace

Filtrace je klasifikována podle *hnací síly* (gravitace, podtlak, přetlak, odstředivé síly), podle *mechanismu filtrace* (povrchová a hloubková), podle *produktu* (suché pevné látky, tekutin, nebo kombinace), podle *pracovního cyklu* (kontinuálně, soustavně bez přerušení nebo diskontinuálně, za konstantního tlaku). [1]

1.1.1 Hnací síly

Hnací silou filtrace je rozdíl tlaků na straně přitékající suspenze a odtékajícího filtrátu. Tlak na přítokové straně je vyvolán buď jako běžný hydrostatický tlak kapaliny nad filtrační přepážkou (**obr. 1**) nebo pomocí dalšího přídavného tlaku (např. čerpadlem). Tlakový rozdíl může být ovlivněn i odstředivou silou, například odstředivka (viz. **kap.6.2**).

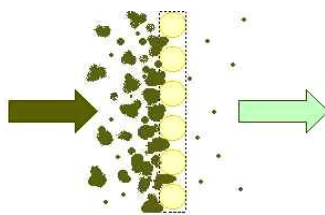


Obr. 1 Filtrační nuč [1]

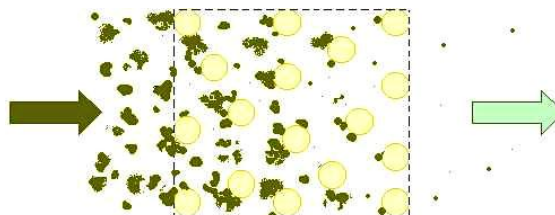
1.1.2 Mechanismus filtrace

Při povrchové filtraci (**obr. 2**) se částice zachycují na povrchu filtru jako filtrační koláč. Naopak při hloubkové filtraci (**obr. 3**) částice procházejí porézním prostředím filtru a zachycují se v něm.

Jsou to tzv. náplňové a pískové filtry a tloušťka filtru je tady většinou mnohem větší než v povrchové filtraci. [5]



Obr. 2 *Povrchová filtrace* [5]



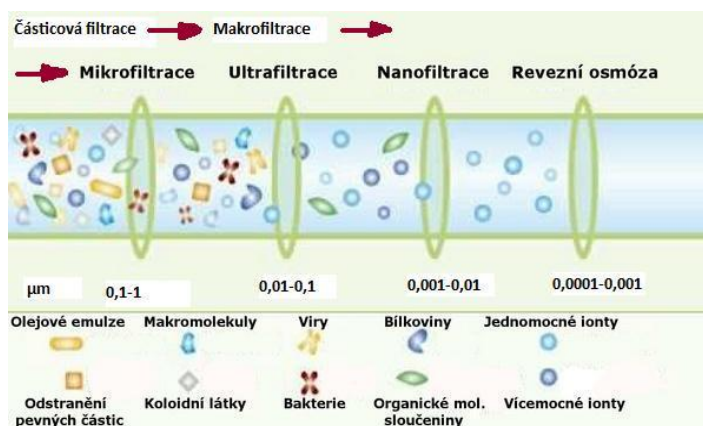
Obr. 3 *Hloubková filtrace* [5]

1.1.3 Produkt

Filtraci lze oddělovat pevné látky z plynů i kapalin, kdy záleží na velikosti částic.

Filtrace využívá rozdílné velikosti částic. Budou-li částice menší než průměr pórů, projdou přes bariéru, zatímco větší částice zůstávají na povrchu bariéry nebo v ní pro pozdější odstranění. Tyto bariéry nazýváme *filtrační média*.

Filtraci rozdělujeme podle velikosti zachycených částic (**obr. 4**) na: částicovou filtraci, makrofiltraci, mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. [2, 3, 4]



Obr. 4 *Rozdělení filtrace podle velikosti částic* [4]

1.1.4 Pracovní cyklus

Filtraci lze provádět kontinuálně neboli soustavně a bez přerušení. Kontinuální pracovní cyklus se využívá například při pískové filtraci. Výhodou je široké využití, vysoká spolehlivost a minimální údržba. Naopak diskontinuální má výhodu ve vysokém výkonu.

1.3 Filtrační média

Filtrační médium je materiál, který je za provozních podmínek filtru propustný pro jednu nebo více složek roztoku nebo suspenze a je nepropustný pro ostatní složky [4].

Filtrační média se dělí podle několika kritérií:

- podle *mechanismu filtrace* – filtry povrchové a hloubkové
- podle *použité technologie výroby* – tkaniny, vpichované textilie, spun-bond, meltblown, spunlace, membrány
- podle *konstrukce* – ploché filtry, skládané filtry, kapsové filtry, patronové filtry, hadicové filtry [3]

1.3.1 Mechanismy filtrace

Mechanismy filtrace jsou popsány v **kapitole 1.1.2**.

1.3.2 Použité technologie výroby

Před výběrem filtračního materiálu je nutné zohlednit, v jakém teplotním a chemickém prostředí se bude používat. V minulosti se používaly bavlněné i lněné materiály, které byly v současnosti nahrazeny syntetickými materiály. Běžnými syntetickými materiály, které se používají při kapalné filtraci, jsou polyester, polyamidy a polypropyleny. Konkrétní typy materiálů, využívaných v kapalné filtraci, jsou uvedeny v **kapitole 8**.

1.3.2.1 Tkaniny

Tkanina je plošná textilie tvořená ze dvou vzájemně kolmých soustav nití (osnovy a útku) a které jsou provázány vazbou tkaniny.

Filtrační tkaniny z přírodních vláken

Dříve se v průmyslové filtraci používalo filtračních tkanin z přírodních vláken (bavlna, len, konopí). Kvůli jejich nevýhodám je postupně nahradila syntetická vlákna.

Filtrační tkaniny ze syntetických vláken

Syntetická vlákna se svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi jsou při filtračním procesu mnohem užitečnější než přírodní vlákna.

Mezi hlavní výhody patří:

- vyšší pevnost vláken
- nižší navlhavost
- snadné oddělování koláče od tkaniny
- snazší promývání filtru a sušení
- vyšší čistota filtrátu zlepší hygienické podmínky filtrace
- větší rychlost filtrace
- odolnost v oděru a nižší možnost poškození
- možnost aplikace chemických látek při filtraci
- ekonomická stránka
- životnost. [6]

Odběratelem filtračních tkanin ze syntetických vláken je hlavně potravinářský, vodohospodářský, chemický a keramický průmysl.

1.3.2.2 Netkané textilie

Netkaná textilie je vrstva vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením, kohezí nebo adhezí a lze ji kombinovat s plošnými textiliemi (tkaniny, pleteniny) nebo netextilními jednotkami (např. plastové folie).

Vpichované textilie

Jedná se o mechanicky zpevňovanou netkanou textilií. Je to technologie provázání vláknenné vrstvy vlákny nebo svazky vláken z vrstvy a to prostřednictvím speciálních vpichovacích jehel s ostny, rozmístěných v kmitající (jehelné) desce.

Čím více vpichů je na plochu vrstvy, tím je textilie pevnější. Podstatná je i hloubka vpichu. Vpichované textilie se využívají například ve stavebnictví.

Spun-bond

Je jedním ze způsobů přípravy vláknenné vrstvy z taveniny polymeru. Technologie spun-bond, neboli zvlákňování a pojení, zahrnuje několik fází:

- roztavení granulátu (nejčastěji POP)
- zvlákňování přes zvlákňovací trysky
- odtažení vláken
- umístění vláken na sítový dopravník
- zpevnění vláknenné vrstvy
- ořezání okrajů a následné navíjení.

Používá se ve zdravotnictví, obalovém průmyslu, na výrobu geotextilií a filtrů.

Melt-blown

Jedná se o výrobu textilie rozfukováním taveniny. Běžně se při této technologii zpracovávají mikrovlákná. Častými polymery pro melt-blown jsou POP (polypropylen), PES (polyester), PE (polyetylen) a PAD (polyamid).

Výrobní proces zahrnuje následující fáze:

- roztavení polymeru a následná doprava taveniny k hubici
- formování vláken
- strhávání taveniny proudem vzduchu, formování vláken a jejich ochlazování
- formování vlákenné vrstvy na porézním sběrném bubnu (pásu)
- pojení
- navíjení.

Výrobky z melt-blown textilie jsou používány jako průmyslové sorbenty, filtrační plachetky pro plyny nebo kapaliny nebo ochranné oděvy.

Spunlace

Jedná se o technologii mechanického zpevňování rouna. Ke zpevnění se využívá jemných vysokotlakých pramínek vody, které proplétají vlákna.

Jednotlivé fáze:

- smočení vlákenné vrstvy
- procházení vodních paprsků skrz vlákennou vrstvu a podpůrné síto
- odsávání vody z prostoru pod nosným sítem
- odvodnění zpevněné textilie
- sušení
- navíjení.

Využívá se v bytovém textilu (ubrusy), automobilovém průmyslu (opěrky hlavy), průmyslové textilie (filtry, ochranné materiály). [17]

Membrány

Filtrační membrány jsou velmi tenká filtrační média, která jsou tvořena různými polymery. Typickým materiálem pro membrány jsou deriváty celulózy a polyamidy. Tyto membrány jsou hydrofilní. Podle charakteru polymeru a požadavků na výrobní proces lze dosáhnout membrán různých velikostí pórů. Výhodou membránových filtrů je hlavně rychlost filtrace. [5]

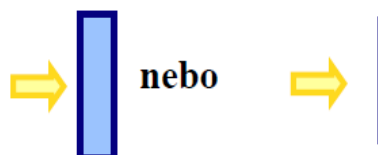
Tab. 1 *Vlastnosti filtračních materiálů*

Materiál vláken	Odolnost proti			Cena	Podmínky bránící použití
	kyselinám	zásadám	abrazi		
bavlna	špatná	dobrá	dobrá	nízká	nízká odolnost proti mikroorganis- mům a kyselému prostředí, vyšší sklon k zanášení
vlna	dobrá	špatná	dobrá	střední	nízká pevnost, špatná odolnost proti mikroorganis- mům
polyester tereftalátov- é kyseliny	dobrá	uspokojivá	výborná	střední	zvolna rozpustný ve slabých zásadách
polyamid (Silon, Nylon)	uspokojivá	dobrá	výborná	střední	podléhá oxidaci
polypropylen	výborná	výborná	dobrá	střední	při 90 °C měkne

1.3.3 Konstrukce filtrů

Plochý filtr

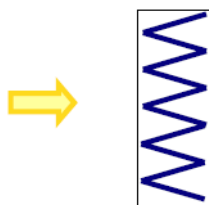
Plochý filtr (**obr. 5**) tvoří rovný povrch, na kterém se zachytávají částice a vzniká filtrační koláč. Používá se k filtraci vzduchu (např. vysavače) i kapalin (např. cukrovarnictví).



Obr. 5 Schéma plochého filtru [5]

Skládané filtry

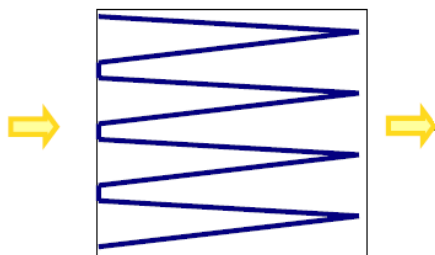
Skládaný filtr (**obr. 6**) se používá k efektivnějšímu zachycování částic v omezeném prostoru. Jednotlivé sklady umístěné za sebou zvyšují celkovou účinnost filtru. Využívá se ve vzduchové filtraci (např. vzduchotechnika).



Obr. 6 Schéma skládaného filtru [5]

Kapsový filtr

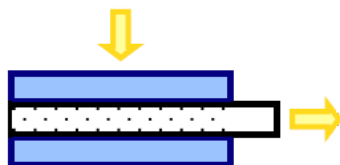
Kapsový filtr (**obr. 7**) je složen z několika kapes, jejichž hladký povrch umožňuje záchyt částic. Kapsy jsou zasazeny do tzv. *rámečku*. Výhodou je velká filtrační plocha, dlouhá životnost při optimálních tlakových ztrátách a nízké energetické náklady. Používají se například zdravotnictví.



Obr. 7 Schéma kapsového filtru [5]

Svíčkový filtr

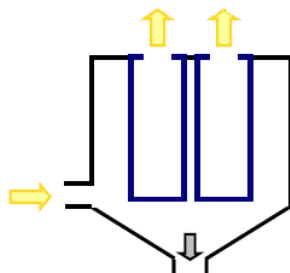
Nejčastěji je vyrobeny z netkané textilie. Svíčkový filtr (**obr. 8**) je z jedné strany uzavřen a částice se mohou zachytávat z vnitřní strany nebo z vnější. Častěji se kapalina (filtrát) odebírá zevnitř ven. Svíčkový filtr se využívá pro filtraci kapalin (např. výroba moštů).



Obr. 8 Schéma svíčkového filtru [5]

Hadicový filtr

Hadicový filtr (**obr. 9**) má většinou jednu stranu uzavřenou a druhou otevřenou. Jsou udržovány v napnutém stavu a to pomocí košů, které jsou vyrobeny z ocelových prutů. Upotřebí se zejména ve vzduchové filtraci.



Obr. 9 Schéma hadicového filtru [5]

2 Parametry filtrace

Filtrační vlastnosti jsou závislé na parametrech filtrace a během procesu filtrování se mění. Změna nastává kvůli zaplňování filtru, na kterém se zachycují částice různých velikostí.

2.1 Hlavní parametry filtrace

Existuje několik základních parametrů filtrace.

2.1.1 Parametry filtračního materiálu

2.1.1.1 Tloušťka filtrační textilie

Tloušťka tkaniny t_{tk} [m] lze definovat jako kolmou vzdálenost mezi lícem a rubem textilie, měřená za předepsaného přtlaku [14].

Patří mezi nejvýznamnější parametry filtru a úzce s ní souvisí účinnost filtru. S narůstající tloušťkou materiálu roste počet vláken v řezu. Díky čemuž se zvyšuje pravděpodobnost zachycení filtrované částice, tedy se zvyšuje možnost střetu částice s vláknem filtru. Vyrůstající tloušťka filtru tak může pozitivně působit na účinnost filtru.

To je znát právě u hloubkové filtrace, kde mezivláknenné prostory uvnitř jsou dostatečně velké a částice mohou pronikat přes celou tloušťku filtru.

U povrchové filtrace hraje podstatnou roli pouze povrch filtru. Mezivláknenné prostory jsou totiž menší než částice, které se pak uchycují na povrchu filtru [19].

2.1.1.2 Plošná hmotnost

Vyjadřuje se hmotností textilie na jednotku plochy a nemění se s tloušťkou textilie. S rostoucí plošnou hmotností se zvyšuje účinnost filtru.

$$\rho_s = \frac{m}{S} = \frac{m}{l \cdot b} \quad (1),$$

kde je ρ_s plošná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$], m je hmotnost odstříhu [kg] plošné textilie o ploše S , S je plocha odstříhu plošné textilie [m^2], l je délka vzorku [m], b je šířka vzorku [m].

2.1.1.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je vyjádřena podílem hmotnosti a tloušťky textilie. Čím vyšší je hodnota objemové hmotnosti (při zachování stejné jemnosti vláken), tím více je vláken ve vlákenné vrstvě a v materiálu filtru daného objemu a je vyšší pravděpodobnost zachycení částic na vláknech. Objemová hmotnost určuje, jakou má textilie hustotu a kolik vzduchu je mezi vlákny.[19]

$$\rho_v = \frac{m}{V} \quad (2),$$

kde ρ_v plošná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je m hmotnost plošné textilie [kg] a V je objem plošné textilie [m^3].

2.1.1.2 Plošná hmotnost

Vyjadřuje se hmotností textilie na jednotku plochy a nemění se s tloušťkou textilie. S rostoucí plošnou hmotností se zvyšuje účinnost filtru.

$$\rho_s = \frac{m}{S} = \frac{m}{l \cdot b} \quad (1),$$

kde je ρ_s plošná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$], m je hmotnost odstříhu [kg] plošné textilie o ploše S , S je plocha odstříhu plošné textilie [m^2], l je délka vzorku [m], b je šířka vzorku [m].

2.1.1.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je vyjádřena podílem hmotnosti a tloušťky textilie. Čím vyšší je hodnota objemové hmotnosti (při zachování stejné jemnosti vláken), tím více je vláken ve vlákenné vrstvě a v materiálu filtru daného objemu a je vyšší pravděpodobnost zachycení částic na vláknech. Objemová hmotnost určuje, jakou má textilie hustotu a kolik vzduchu je mezi vlákny.[19]

$$\rho_v = \frac{m}{V} \quad (2),$$

kde ρ_v plošná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$] je m hmotnost plošné textilie [kg] a V je objem plošné textilie [m^3].

3 Parametry vláken

Parametry vláken podstatně ovlivňují efektivitu. Významný je *průměr vláken* d_v , který je úzce spjat s jemností. Účinnost s rostoucím průměrem vláken klesá, čím jemnější jsou vlákna, tak tím vyšší je účinnost, ale také tlakový spád.

Mezi další parametry, které se hodnotí u vláken, patří tvar a měrný povrch vláken. Mezi pravděpodobností zachycení částice a měrným povrchem vlákna platí přímá úměrnost. Filtrační materiály vyrobené z vláken s velkým měrným povrchem mají podstatně vyšší efektivitu. [19]

3.1 Průměr

Pokud by vlákno mělo kruhový průřez s průměrem vlákna d :

$$d = \sqrt{\frac{4s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4t}{\pi\rho}} \quad (3),$$

kde d je průměr měřeného vlákna [mm], t je jemnost vláken [tex] a ρ je hustota vláken [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

3.2 Jemnost

Jemnost (délková hmotnost) je vztah mezi hmotností a délkou.

$$T = \frac{m}{l} \quad (4),$$

kde T je jemnost [tex], l je délka [m] a m je hmotnost [kg]. $1 \text{ tex} = 1 \text{ g} \cdot \text{km}^{-1}$

3.3 Zakrytí filtru

Zakrytí filtru určuje, kolik procent plochy filtru zabírají vlákna. Velké zakrytí ve filtračním materiálu vytváří vysoký tlakový spád, ale i zvyšuje efektivitu filtru. [19]

3.4 Prodyšnost

Prodyšnost vyjadřuje množství vzduchu, které projde danou plochou materiálu za stanovený čas při určitém tlakovém spádu.

$$P_r = \frac{Q}{A} \quad (5),$$

kde P_r je prodyšnost [$1 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$], Q je tok vzduchu [$\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$] a A je plocha vrstvy kolmá ke směru toku [m^2].

Prodyšnost materiálu je ovlivněna tloušťkou, objemovou hmotností a tvarem příze, dostavou, použitou vazbou a druhem konečné úpravy materiálu. Dále je prodyšnost textilií závislá na vlhkosti a množství použitých vrstev materiálu. Při zvětšování tloušťky textilie (při zachování objemové hmotnosti), se snižuje množství průchozích pórů. Díky tomu klesá prodyšnost materiálu. Prodyšnost textilií klesá s růstem jejich vlhkosti, což způsobuje nabobtnání. [20]

K měření prodyšnosti se používá například přístroj METEFEM typ FF-12/A, který je zmíněn v **kapitole 8**.

3.5 Porozita a průměr mezivláknenného póru

3.5.1 Porozita

Porozita je definována plošnou nebo objemovou hmotností. Pokud porozita klesá, zvyšuje se plošná hmotnost a zároveň efektivita filtru. Současně se zvyšuje i tlakový spád, a proto se při filtraci uplatňují vysokoporozní látky. [19]

Vyjadřuje podíl objemu vláknenného útvaru vyplněného vzduchem. Porozita je pak definována vztahem [21]:

$$\psi = \frac{V_c - V}{V_c} = 1 - \frac{V}{V_c} = 1 - \mu \quad (6),$$

$$\mu = \frac{V}{V_c} \quad (7),$$

kde Ψ je porozita [%], V_c je celkový objem vláknenného útvaru [m^3], V je objem vláken [m^3] a μ je zaplnění (nabývá hodnot $<0;1>$).

Stejný objem vzduchu může být v několika málo velkých pórech, nebo v množství malých pórů. Proto je nutné určit střední velikost mezivláknenných pórů. [21]

3.5.2 Objem pórů

Objem pórů (tj. objem vzduchu) ve vláknenném útvaru lze za užití rovnic (6) a (7) vypočítat takto:

$$V_p = V_c - V = V_c \psi - \frac{V}{\mu} (1 - \mu) = V \frac{1 - \mu}{\mu} \quad (8),$$

kde Ψ je porozita [%], [19]

Úhrnná délka všech vláken ve vlákenném útvaru je L . L se vypočítá z jemnosti vláken.

Pro objem vláken platí:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} L \quad (9),$$

Objem pórů s použitím úhrnné délky:

$$V_p = \frac{\pi d^2}{4} L \frac{1 - \mu}{\mu} \quad (10)$$

3.5.3 Povrch vláken

Povrch vláken ve vlákenném útvaru je [21]:

$$A = Lp = L\pi d(1 + q) \quad (11),$$

kde: d je ekvivalentní průměr vlákna, q je tvarový faktor.

Ekvivalentní průměr je dán vztahem:

$$d = \sqrt{\frac{4T}{\pi\rho}} \quad (12),$$

kde T je jemnost vlákna (tex).

Tvarový faktor je dán vztahem:

$$q = \frac{p}{\pi d} - 1 \quad (13),$$

kde p je obvod příčného řezu vlákna.

Příčný řez vlákna je dán vztahem:

$$p = \pi d(1 + q) \quad (14),$$

3.5.4 Povrch pórů

Lze říci, že povrch pórů lze odvodit za předpokladu, že v místě, kde končí vlákno, začíná vzduch okolo něj. Povrch pórů je zároveň povrchem vláken. (Uvažujeme styk

vláken v bodech či v křivkách. Pokud by byly v kontaktech mezi vlákny styčné plochy, nemohly by být do povrchu pórů zahrnovány). [21]

Předpoklad lze s užitím (11) zapsat ve tvaru [21]:

$$A_p = A = L\pi d(1 + q) \quad (15),$$

3.5.5 Tvar mezivláknenných pórů:

Tvar mezivláknenných pórů je dost komplikovaný. Pro ulehčení řešení proto zavedeme podmínku, že mezivláknenné póry mají tvar kapilár. (Kapiláry nemusí mít kruhový průřez, ale i tak je zavedená podmínka značným ulehčením skutečnosti).

Póry si nyní lze představit jako vzduchová vlákna, pro která jsou definovány podobné veličiny jako u vláken. Bude značena následovně [21]:

3.5.6 Obvod příčného řezu pórem

Obvod příčného řezu pórem můžeme vyjádřit v obdobě k rovnici (14) rovnicí [21]:

$$p_p = \pi d_p(1 + q_p) \quad (16),$$

kde L_p je délka pórových kapilár ve vlákenném útvaru (analogie úhrnné délky vláken), d_p je ekvivalentní průměr póru (analogie ekvivalentního průměru vláken), q_p je tvarový faktor póru (analogie tvarového faktoru vláken).

3.5.7 Povrch pórů

Povrch pórů je v analogii k rovnici (11) vyjádřen vztahem [21]:

$$A_p = L_p p_p = L_p \pi d_p(1 + q_p) \quad (17),$$

Objem pórů:

$$V_p = \frac{\pi d_p^2}{4} \cdot L_p \quad (18).$$

3.6 Odolnost vůči vnějším vlivům

Na filtr mohou působit následující vlivy:

- chemické (kyseliny)
- mechanické (ostré částice)
- teploty
- kombinace výše uvedených vlivů.

4 Filtrační vlastnosti

Průběh filtrace popisují tyto základní filtrační vlastnosti: efektivnost, tlakový spád a průnik filtru.

4.1 Efektivnost (účinnost) filtru

Efektivnost filtru je definována rovnicí [19]:

$$E = \frac{G_3}{G_1} = \frac{(G_1 - G_2)}{G_1} = 1 - \frac{G_2}{G_1} \quad (19),$$

kde G_1 je hmotnostní proud částic [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$], respektive dispersního podílu nebo fáze před filtrem, G_2 hmotnostní proud částic za filtrem [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$] a G_3 hmotnostní množství částic zachycených filtrem za určitý čas.

Ze zákona zachování hmoty vyplývá:

$$G_1 = G_2 + G_3 \quad (20),$$

4.2 Tlakový spád

Tlakový spád je značován jako tlaková ztráta je dalším důležitým parametrem popisující vlastnosti filtračního materiálu a je určený vztahem [19]:

$$\Delta p = p_1 - p_2 \quad (21),$$

kde p_1 a p_2 jsou tlaky před filtrem a za filtrem. Přičemž pro vrstvené filtry platí:

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 \quad (22),$$

kde Δp_1 a Δp_2 jsou tlakové spády jednotlivých dvou filtrů a Δp je jejich celkový tlakový spád.

Při malých objemových rychlostech průtoku Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] je vztah mezi Δp a Q lineární, takže:

$$\Delta p = Q \cdot R \quad (23),$$

kde R [$\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$] je odpor filtru. [19]

4.3 Průnik filtru

Průnik filtru je definován množstvím částic, které proniknou filtrem a je dán vztahem:

$$P = 1 - E \quad (24)$$

Z definice rovnice (25) vyplývá:

$$E + P = 1 \quad (25)$$

4.4 Výtěžek filtrace

Výtěžek filtrace [%] je definován jako poměr hmotnosti pevných částic zadržených filtrem m_z k celkovému množství těchto částic ve filtrované suspenzi m :

$$\eta = \frac{m_z}{m} \quad (26),$$

4.5 Filtrační rychlost

Filtrační rychlost [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] je popsána jako objem filtrátu, který protekl jednotkou plochy filtru za jednotku času, kde S je filtrační plocha a mimovrstvová rychlost filtrátu u_0 je filtrační rychlost.

$$u_0 = \frac{l}{S} \quad (27),$$

4.6 Faktory ovlivňující rychlost filtrace:

- znaky filtrátu
- vlastnosti suspendovaných částic
- tlakový spád
- fyzikálně chemické jevy [18].

5 Filtrační zařízení

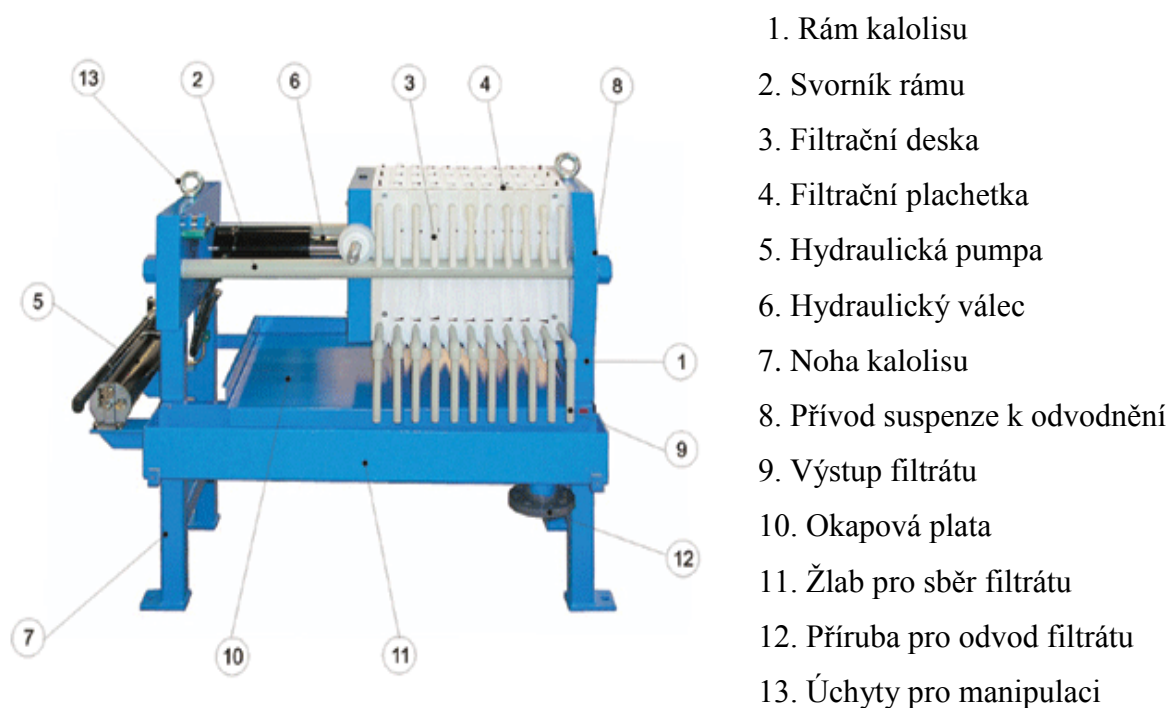
Filtrační zařízení se dělí podle požadavků na oblast využití a druhu filtračního média. Mezi filtrační zařízení patří například kalolisy, odstředivky, vakuové přístroje, atd.

5.1 Kalolis

Velikost kalolisu (obr. 10) je charakterizována počtem filtračních desek a délkou jejich hrany, která udává formát lisu. *Rám* tvoří nosnou konstrukci celého zařízení. Jsou na něj zavěšeny filtrační desky a ztužuje kalolis při působení velkého silového zatížení během pracovního cyklu. *Filtrační desky* vytvářejí pracovní prostor kalolisu – soustavu uzavřených filtračních komor. Okraj desky je silnější než její prohloubená vnitřní část a tvoří tak styčnou plochu se sousední deskou.[7]

Filtrační komora je vytvořena vždy dvěma sousedními deskami, tloušťka komory je určena součtem jejich prohloubení. Filtrační desky jsou povlečeny *filtračními plachetkami* viz. **kapitola 8**. Odvodňovaná suspenze je přiváděna nátokovým otvorem probíhajícím průběžně celým svazkem desek i plachetek. Kapalina je tlakem rovnoměrně plněna do všech komor, filtrát prochází skrz plachetky a je odváděn kanálky vrtanými v deskách. Svazek desek je v průběhu celé filtrace pevně sevřen pomocí *hydraulického agregátu*. Tím je zajištěno, že i při vysokém filtračním tlaku nedojde k úniku suspenze z filtračních komor. [7]

Schéma kalolisu



Obr. 10 Schéma kalolisu [7]

Pracovní cyklus lisu:

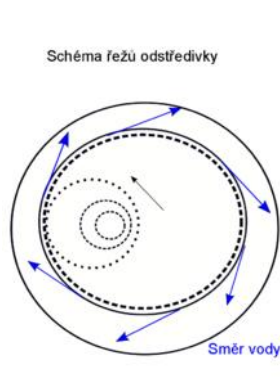
- vlastní filtrace
- promývání filtračního koláče
- odvodňování filtračního koláče (prosoušení, lisování)
- odstranění filtračního koláče
- vyčištění a sestavení lisu

5.2 Odstředivka

Jedná se o rotační zařízení, které využívá odstředivou sílu. Nejčastěji se používá k oddělení různě těžkých složek kapalin nebo plynů nebo separaci kapalin a plynů od pevných látek.

Odstředivky (**obr. 11**) se používají například:

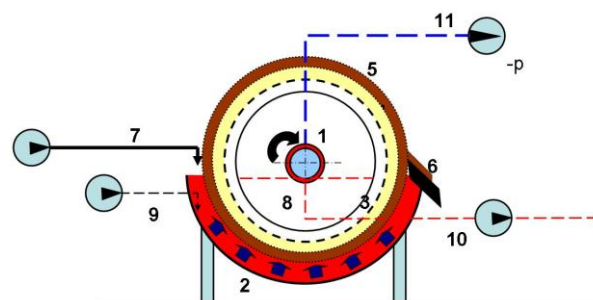
- v chemickém průmyslu (laboratořích)
- pro čištění odpadních vod
- v jaderném průmyslu (separace uranu)
- v domácnostech (pračka, ždímačka).



Obr. 11 Schéma řezu odstředivky [22]

5.3 Vakuový filtr

Vakuový filtr (**obr. 12**) využívá k filtraci podtlak a to přes síťový stůl nebo bubnu. Dříve se využíval hlavně v potravinářském průmyslu.



1 – filtrační buben, 2 - poloválcový žlab, 3 – nosné síto,
4 – naplavená vrstva křemeliny, 5 – vrstva kalů, 6 – plochý
nůž, 7 – přívod filtrovaného vína, 8 – odvod filtrátu,
9 – dávkování křemeliny, 10 - výstup filtrátu, 11 – vývěva

Obr. 12 Schéma vakuového filtru [23]

6 Zpracovatelský průmysl a filtrace vody

6.1 Zpracovatelský průmysl

Zpracovatelský průmysl má významný vliv na úroveň celého hospodářství, protože se podílí podstatnou mírou na výrobě kapitálových statků. Základním úkolem zpracovatelského průmyslu je zpracovávání surovin ze zemědělství a těžebního průmyslu. Do tohoto odvětví patří průmysl potravinářský, hutnický, chemický, dřevařský, textilní a další.

a) potravinářský průmysl

- pekárny (plachta do kynáren nebo na dopravníky (nekonečné prošívané pásy)
- sila na obilí (sítě, které provzdušňují obilí)
- cukrovarnictví (filtrační plachetky, kterými se filtruje saturovaná neboli hrubá šťáva)
- výroba olejů (filtrační plachetky)
- výroba moštů (filtry)

b) **chemický průmysl** – neutralizační stanice (slouží k optimalizaci hodnot pH odpadních vod na základě přidávání určitých chemikálií a pro oddělení vzniklého kalu od vody jsou použity filtrační plachetky)

c) **keramický průmysl** – používají se filtrační plachty k výrobě kaolínu, který se dále zpracovává v celé řadě průmyslového odvětví (nátěrové hmoty, stavební průmysl, keramika)

d) **rekultivace uranových dolů** – pomocí neutralizačního procesu se čistí uranové naleziště od uranu

e) čističky odpadních vod

6.2 Filtrace vody

Filtrace vody se využívá pro domácí i průmyslovou oblast a má schopnost odstranit z vody nežádoucí substance. Pomocí vodních filtrů, které se liší podle užití, odstraní z vody například chlor, dusičnan, železo, dusičnany atd.

Filtr na vodu nechtěné látky zachytí na svém povrchu nebo uvnitř své struktury.

- vodárenství (filtrace surové vody, odstranění zápachu a zákalu, chemická dezinfekce)
- ropný průmysl (filtrace surové vody, kontrola pH)
- potravinářský průmysl (filtrace surové vody, membránová filtrace, systémy dezinfekce)
- chemický průmysl (předúprava surové vody, tlaková filtrace médií)
- chladicí věže (čištění vody chladících věží, změkčení a demineralizace)
- recyklace vody (UV a chemická dezinfekce).

7 Představení firem

7.1 Zitex s.r.o.

Zitex s.r.o. je soukromou českou společností zabývající se konfekční výrobou textilních technických výrobků. Logo firmy je uvedeno níže (**obr. 13**).



Obr. 13 Logo firmy Zitex [8]

7.1.1 Historie

Společnost byla založena roku 1997 a navazuje na tradici textilní výroby konfekčního zpracování filtračních textilií v Lomnici nad Popelkou, která byla v minulém století zajišťována firmou Technolen.

Díky dlouholetým zkušenostem v oblasti textilního průmyslu, společnost nabízí efektivní řešení požadavků zákazníků, poptávajících technické textilní výrobky, především pro průmyslovou filtraci kapalin a plynů a obalový sortiment.

7.1.2 Orientace firmy na trhu

Zitex s.r.o. je rodinná firma, která od svého vzniku sleduje aktivní linii přístupu k zákazníkovi se zaměřením na optimální řešení jeho technických, ekologických a ekonomických požadavků. Je výrobcem především konfekce textilních filtrů pro kapalnou filtraci, ale s rozvojem firmy a hlavně trhu, se výroba rozšířila i do dalších odvětví našeho průmyslu.

7.1.3 Certifikát

Od roku 2006 je společnost držitelem mezinárodního certifikátu ČSN EN 9001:2001 v oboru: „Výroba technických textilních výrobků – filtrů“.

7.1.4 Clutex

Zitex s.r.o. je členem skupiny Clutex (klastr technických textilií), která sdružuje firmy specializující se na technický textil.

7.1.5 Nabídka firmy

Firma nabízí široký sortiment materiálů tuzemských a zahraničních výrobců technických textilií a spolupracuje s výrobcí filtračních zařízení. Specializací firmy je výroba filtračních plachetek pro potravinářský průmysl, konkrétně pro cukrovarnictví a keramický průmysl. Nabídka firmy není pevně stanovena, řídí se požadavky zákazníka na parametry a vlastnosti, který by měl výrobek splňovat pro jeho použití.

7. 2 LB Minerals s.r.o.

LB Minerals, s.r.o. je součástí koncernu LASSELSBERGER. Díky své rozsáhlé nabídce patří mezi největší dodavatele surovin ve střední Evropě. Ukázka loga firmy (**obr. 14**).



Obr. 14 Logo firmy *LB Minerals* [12]

7.2.1 Historie

Horní Bříza

V roce 1877 byla zahájena těžba a plavení kaolinu. O pět let později byla založena Továrna na výrobu hliněného, kaolinového a šamotového zboží. Po privatizaci v roce 1992 vznikla akciová společnost Západočeské kaolinové a keramické závody. Změna názvu podniku na Keramika Horní Bříza a.s. přišla v roce 1997. V roce 2007 vznikla akciová společnost LB MINERALS, která se o dva roky déle transformovala na společnost LB MINERALS, s.r.o.

7.2.2 Orientace firmy

LB Minerals s.r.o. se zaměřuje hlavně na těžbu, úpravu a následné zpracování kaolinů, jílu, živců, kameniva a písků. Mezi její produkty patří filtrační křemelina, stelivo a štuková omítka.

K dnešnímu dni společnost LB Minerals, s.r.o. působí v rámci České republiky na 41 dobývacích místech. Díky široké působnosti může nabídnout svým zákazníkům rozsáhlý sortiment surovin, které se dají použít v mnoha průmyslových odvětvích.

7.2.3 Nabídka firmy

Hlavními produkty LB Minerals s.r.o. jsou kaoliny, které se v keramickém průmyslu zpracovávají na výrobu obkladů, dlaždic a sanitární keramiky. Dále se kaolin využívá při výrobě papíru, laků, tmelů a plastů. Nedávno firma zaregistrovala nárůst zájmu o mleté kaoliny pro výrobu skleněných vláken, které se v posledních letech prosazují v různých průmyslových odvětvích, například v automobilovém průmyslu.

Dalším produktem jsou jíly, které jsou používány na výrobu keramických obkladů a dlažeb, pálených střešních tašek, elektroporcelánu a užitkové keramiky.

Podstatnou část produkce zabírají živce. Živce jsou využívány při výrobě skla, sanitární keramiky, porcelánů a glazur.

Díky inovaci v přístupu zpracování a nabídce pro zákazníky se kamenivo a písek stává dalším silným artiklem a konkurenceschopným produktem.

7.2.4 Cíle firmy

Nejdůležitějším cílem je zabezpečení požadovaných dodávek včas a ve kvalitě, kterou si zákazník objednal. Dalším cílem je udržení svého významného postavení na trhu, vývoj nových výrobků a optimalizace využití přírodních zdrojů.

8 Experimentální část

V oblasti západních Čech je vysoká koncentrace keramických závodů, které zpracovávají kaolin. Od roku 1997 používají filtrační plachetky z kombinace netkaného a tkaného materiálu. V rámci inovace výroby kaolinu by chtěly zavést filtrační plachetky z tkaného materiálu.

V rámci experimentu byl porovnán materiál z kombinace netkaného a tkaného materiálu a tkaný materiál. Pro experiment byly vybrány dva typy textilií používané pro stejnou aplikaci lišící se technologií výroby i parametry.

Jednalo se o vpichovanou netkanou textilií kombinovanou s tkaninou a tkaninu. Jako tkanina byl vybrán polyamid s nízkou průtokovostí ($12 \text{ l} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$). Rozměry filtrační plachetky byly zvoleny 50x50 cm s otvorem uprostřed pro tzv. krček.

Materiál tvořený z netkaného a tkaného materiálu měl průtokovost $108,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{dm}^{-2}$. Rozměry plachetky byly 50x50 cm s otvorem uprostřed pro krček. Zároveň měl kombinovaný materiál povrchovou úpravu, tzv. kalandrování. Díky této úpravě získá textilie hladší povrch, ale zároveň určitou neprodyšnost. Na filtrační plachetce z kombinovaného materiálu upraveného kalandrováním se tak snadněji odstraňuje filtrační koláč, zároveň má ale nižší prodyšnost než tkanina.

Filtrační média byla umístěna do kalolisu v keramickém závodě, kde v průběhu čtyř měsíců docházelo po stanovené době k vyjmutí médií z kalolisu. Po změření byla vrácena zpět do provozu. Média byla z kalolisu odebírána na konci jejich životnosti, která je stanovena výrobcem z dlouhodobých zkušeností. Jeden cyklus trval dvě hodiny, po každém cyklu byly plachetky oklepány. V kalolisu na ně působil tlak 16 bar. Cílem bylo zajistit reálné opotřebení filtračních materiálů. Parametry filtrů tak byly testovány v průběhu procesu filtrace.

Plavený kaolin je směs různých minerálů velmi jemné zrnitosti, v níž je převládající složkou minerál kaolinit. Velikost částic plavených kaolinů se pohybuje od několika desetin mikrometrů do 20-60 mikrometrů a obsahem kaolinitu 80 – 85 %.

Pro speciální účely se vyrábí kaoliny podstatně jemnější. Jejich horní mez velikosti částic je 10 mikrometrů a menší a obsah kaolinitu je přes 90 %. [15]

Testování vzorků lze rozdělit na tři celky. Předmětem první části bylo měření velikosti pórů bublinkovou metodou, která se používá k zjištění největšího póru u plošných filtrů. Díky zjištění největšího pórů lze určit, jak velké částice může filtr zachytit. V druhé části experimentu byla měřena prodyšnost. V třetí části experimentu bylo měřeno pokrytí plochy filtru nánosem kaolinu, který se usazuje na povrchu filtru. Při měření plochy pokrytí záleží na počtu absolvovaných cyklů filtrační plachetky.

Ke každé části byly uvedeny výpočty a grafická zobrazení.

8. 1 Použité materiály

8.1.1 Netkaná textilie kompozitní

Označení vzorku: POP bílý

Materiál byl tvořen dvěma komponentami (**obr. 15**), a to z podkladové tkaniny a netkané textilie.

Podkladová tkanina:

Vazba: plátno

Plošná hmotnost: $135 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

Jemnost osnovy: 1300 dtex

Jemnost útku: 890 dtex

Tažnost osnovy: 8,7 %

Tažnost útku: 12,5 %

Pevnost osnova: $1690,6 \text{ N} \cdot 5\text{cm}^{-1}$

Pevnost útek: $1146,1 \text{ N} \cdot 5\text{cm}^{-1}$

Povrchová úprava: horký kalandr

Netkaná textilie:

Vpichovaná filtrační textilie ze 100 % polypropylenu. Lící strana je tepelně upravená pro kapalinovou filtraci.

Barva: bílá

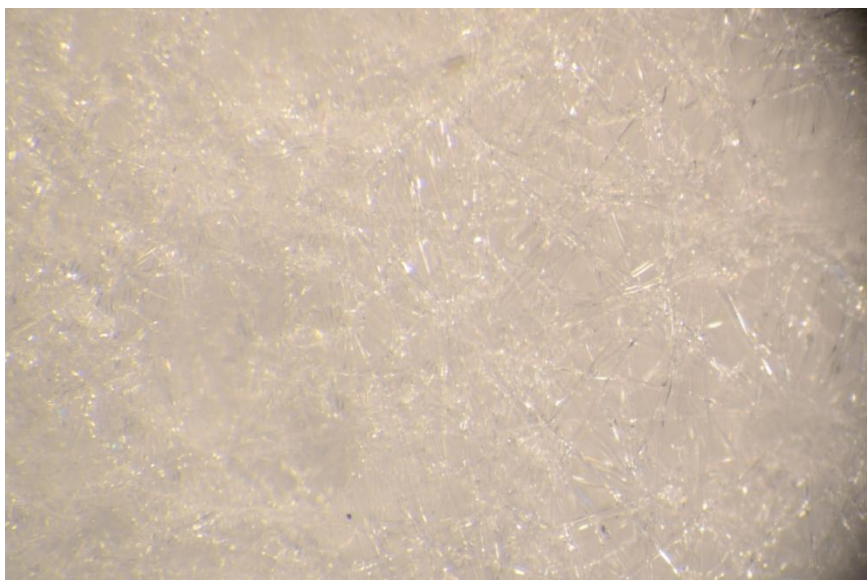
Plošná hmotnost: $400 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

Pevnost podélná: min. $1000 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}^{-1}$

Pevnost příčná: min. $1100 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}^{-1}$

Prodyšnost při 200 Pa: min. $90 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Tepelná odolnost: max. $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Obr. 15 Ukázka netkané textilie - bílá

8.1.2 Netkaná textilie – kompozitní

Označení vzorku: POP zelený

Materiál je složen ze dvou komponentů (**obr. 16**), a to z podkladové tkaniny a netkané textilie.

Podkladová tkanina:

Vazba: plátno

Plošná hmotnost: $135 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

Jemnost osnovy: 1300 dtex

Jemnost útku: 890 dtex

Tažnost osnova: 8,7 %

Tažnost útek: 12,5 %

Pevnost osnova: $1690,6 \text{ N} \cdot 5\text{cm}^{-1}$

Pevnost útek: $1146,1 \text{ N} \cdot 5\text{cm}^{-1}$

Povrchová úprava: horký kalandr

Netkaná textilie

Vpichovaná filtrační textilie ze 100% polypropylenu. Lící strana je tepelně upravená pro kapalinovou filtraci.

Barva: zelená

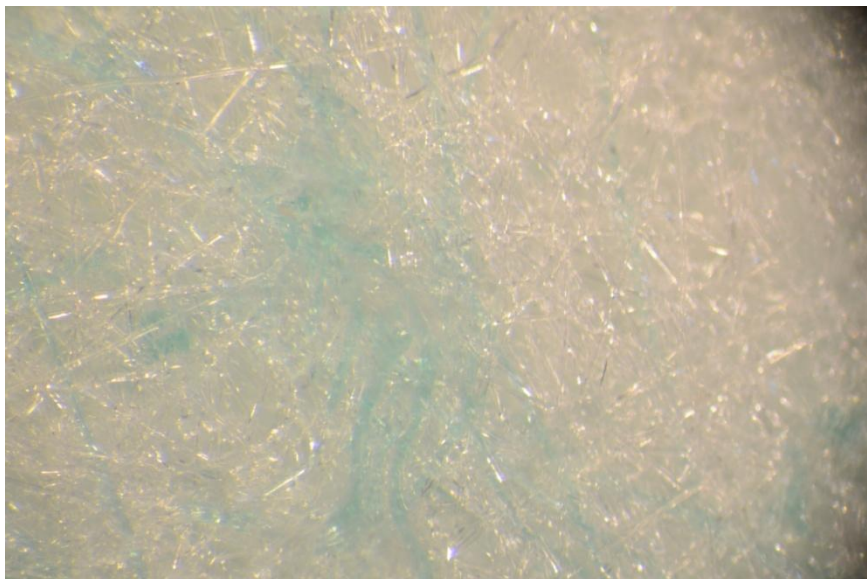
Plošná hmotnost: $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

Pevnost podélná: min. $600 \text{ N} \cdot 5\text{cm}^{-1}$

Pevnost příčná: min $900 \text{ N} \cdot 5\text{cm}^{-1}$

Prodyšnost při 200 Pa: min $100 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Tepelná odolnost: max. 90 °C



Obr. 16 *Ukázka netkané textilie – zelená*

8.1.3 Tkanina

Označení vzorku: PAD

Jedná se o technickou tkaninu (**obr. 17**).

Materiál: polyamid

Vazba: plátno

Plošná hmotnost: $360 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

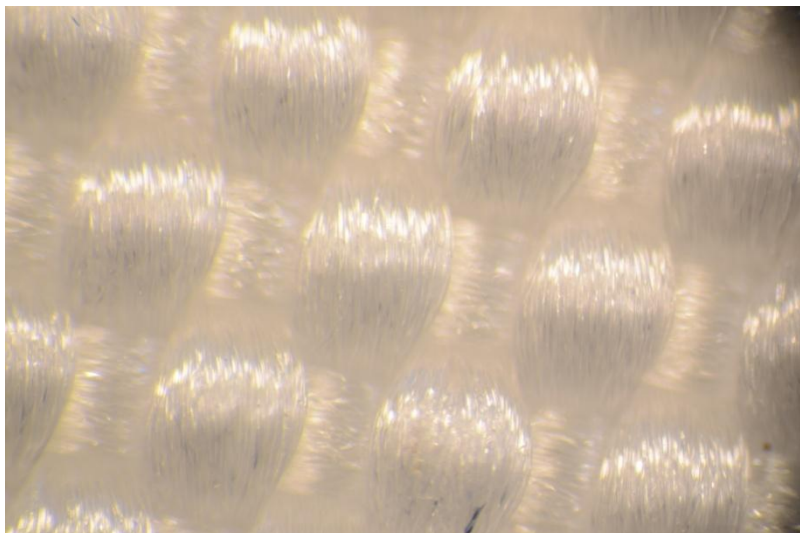
Jemnost osnovy: 940 dtex

Jemnost útku: 940 dtex

Tažnost osnova: 48 %

Tažnost útek: 27 %

Povrchová úprava: srážená



Obr. 17 *Ukázka tkaniny z PAD*

8.1.4 Ukázka materiálu používaného v jiných keramických závodech

Typ materiálu na filtraci kapalin si každý keramický závod určuje sám podle svých požadavků a dosavadních zkušeností. Kromě výše zmíněných materiálů je v jiných závodech, než ve kterých byly testovány filtrační plachetky, používán tento tkaný materiál.

Materiál: PADh chemlon

Vazba: plátno

Plošná hmotnost: $604 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$

Jemnost osnovy: 1880 dtex

Jemnost útku: 1880 dtex

Tažnost osnova: 37 %

Tažnost útek: 36 %

Úprava: srážená

8.2 Výpočet intervalu spolehlivosti pomocí Hornova postupu

Hornův postup pro malé výběry, $4 \leq n \leq 20$ je založený na pořádkových statistikách.[25]

Hloubka pivotu se vypočítá jako

$$H = \left(\text{int} \frac{\left(\frac{(n+1)}{2} \right)}{2} \right) \quad (33)$$

nebo jako

$$H = \left(\text{int} \frac{\left(\frac{(n+1)}{2} \right) + 1}{2} \right) \quad (34)$$

Dolní pivot se vypočítá podle

$$x_D = x_{(H)} \quad (35)$$

Horní pivot se vypočítá podle

$$x_H = x_{(n+1-H)} \quad (36)$$

Pivotová polosuma je odhadem parametru polohy, je definována

$$P_L = \frac{(x_D + x_{(H)})}{2} \quad (37)$$

Pivotové rozpětí je odhadem parametru rozptýlení

$$R_L = x_{(H)} - x_D \quad (38)$$

Náhodná veličina k testování je definována

$$T_L = \frac{P_L}{R_L} \quad (39)$$

Hodnoty kvantilů jsou uváděny v tabulce *Kvantily* $t_{L,1-\alpha/2}(n)$.

95%ní interval spolehlivosti střední hodnoty se vypočítá

$$P_L - R_L t_{L,0.975}(n) \leq \mu \leq P_L + R_L t_{L,0.975}(n) \quad (40)$$

8.3 Velikost pórů

Pro zjištění velikosti pórů byla vybrána **bublinková metoda**. Bublinková metoda se používá ke zjištění největšího póru u plošného filtru. Určením velikosti největšího póru lze usoudit, jaké rozměry částic může filtr zachytit.

8.3.1 Příprava vzorků

Plachetky (materiály) byly měřeny na začátku a na konci své životnosti. Jelikož by se plachetky po počátečním měření zničily a nebylo by možné je zkoušet v reálném prostředí keramického závodu, bylo nutné získat potřebnou (počáteční) část materiálu z metráže, ze které se plachetky vyrobily. Tato část materiálu byla vyříznuta společně s tvarem plachetky. Na razícím stroji bylo vyraženo 6 vzorků ve tvaru kruhu.

8.3.2 Postup měření

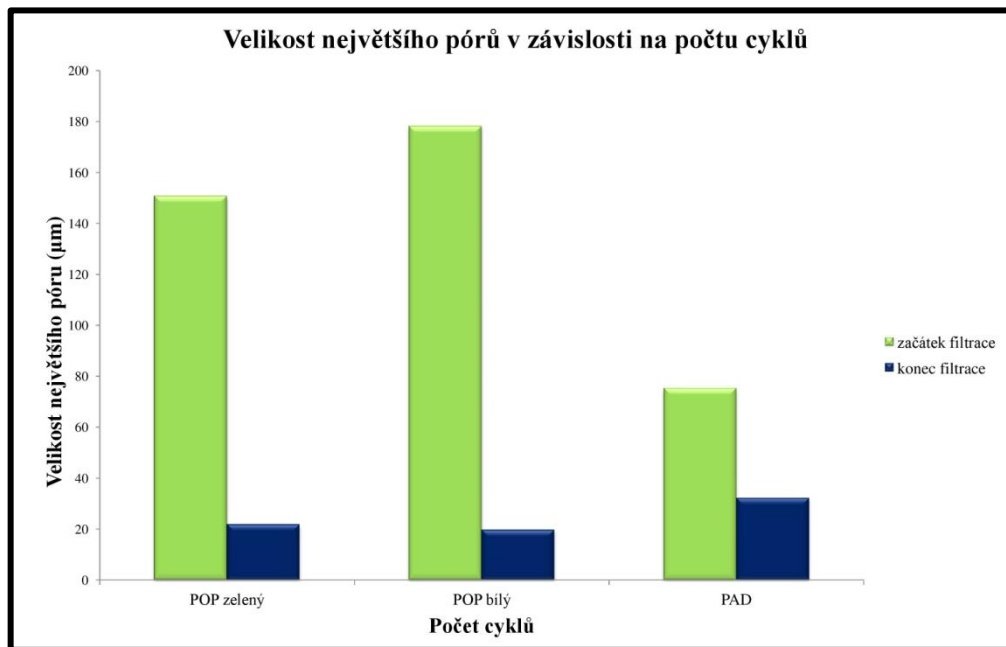
Kruhový vzorek textilie byl umístěn do upínací čelisti. Na textilií, která byla čistá a nepoškozená od kaolinu, byla položena kovová mřížka, na ni opatrně a rovnoměrně nanesen minerální olej. Ventil s přívodem byl zašroubován a pomalu se zvyšoval tlak. Zároveň probíhala kontrola průtoku. To samé se opakovalo s použitým vzorkem, který byl na konci své životnosti. Velikost póru byla testována na přístroji Makropulos 55 (**obr. 18**), v programu Microsoft Excel byl vytvořen graf (**obr. 19**) závislosti největšího póru na počtu cyklů a graf (**obr. 20**) závislosti průměrného póru na počtu cyklů. Jeden cyklus trval dvě hodiny.



Obr. 18 Přístroj Makropulos 55 [24]

8.3.3 Vyhodnocení a diskuze výsledků

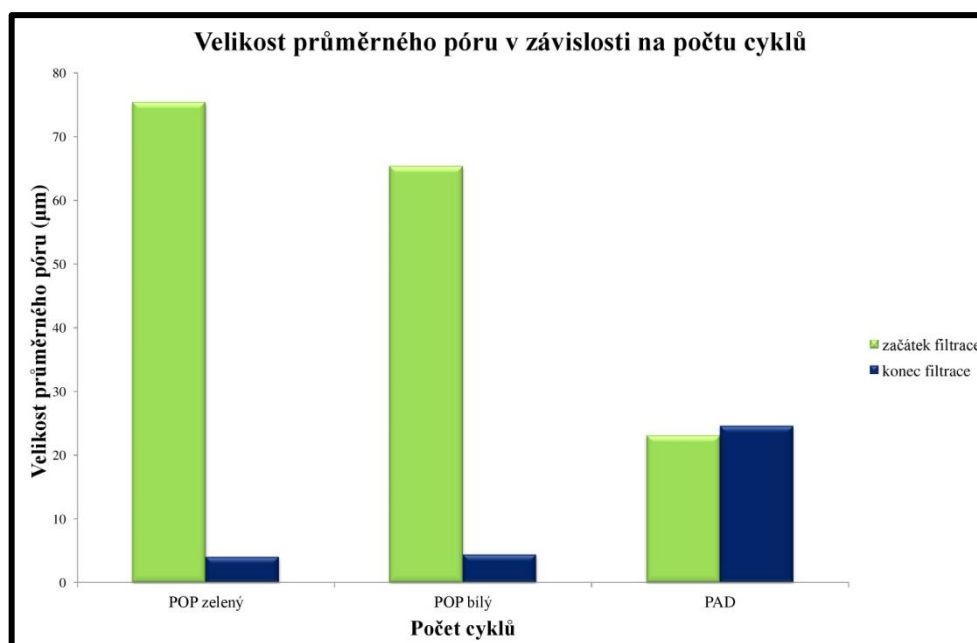
Na **obr. 19** jsou zaznamenány velikosti největšího póru před filtrací a na konci životnosti filtrační plachetky.



Obr. 19 Graf závislosti velikosti největšího póru na počtu cyklů

Velikost pórů udává, jak velké částice filtrem projdou a které se zachytí na povrchu. S počtem cyklů se velikost pórů zmenšuje, což je způsobeno z důvodů zanášení filtru na povrchu a uvnitř filtru. Z grafu lze vyčíst, že tkanina z PAD má nejmenší velikost největšího póru a tudíž zachytí nejvíce částic.

Na **obr. 20** je zaznamenána závislost velikosti průměrného póru na počtu cyklů. S počtem cyklů se velikost pórů zmenšuje. Je to z důvodu zanášení filtru na povrchu a v jeho struktuře. Z grafu lze říci, že tkanina z PAD má nejmenší velikost průměrného póru a tudíž zachytí nejvíce částic. Je také vidět, že tkanina z PAD má téměř stejnou velikost průměrného póru, a to od začátku až po konec životnosti plachetky.



Obr. 20 *Graf závislosti velikosti průměrného póru na počtu cyklů*

8.4 Prodyšnost

Prodyšnost je popsána jako rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo plochou zkušební vzorku při stanoveném spádu a době.

8.4.1 Příprava vzorků

Filtrační plachetky byly umístěny do kalolisu v keramickém závodě a během čtyř měsíců po určitých cyklech vyjmuty, přepraveny do laboratoře ke změření, a poté vráceny zpět do kalolisu. Tento proces se opakoval na všech vzorcích.

Každá plachetka byla měřena na různých místech své plochy. Pro měření prodyšnosti byl použit přístroj METEFEM typ FF – 12/A (**obr. 21**).



Obr. 21 Přístroj *METEFEM* typ *FF-12/A*[13]

Parametry přístroje na měření prodyšnosti METEFEM typ FF – 12/A:

Velikost zkoušených ploch: 10, 20, 50, 100 cm²

Rozsah tlakoměru: 0 – 200 mm H₂O

Rozsah průtokoměrů: A: 800 – 8000 l/hod

B: 120 – 1200 l/hod

C: 20 – 200 l/hod

D: 4 – 40 l/hod

Tolerance průtokoměrů: $\sigma = \pm 1,5 \%$

8.4.2 Postup měření

Nejprve byl otáčením proti směru hodinových ručiček uzavřen vzduchový ventil a zapnut přístroj. U trubice pro měření tlakového spádu byla nulovacím kolečkem nastavena hladina vody na nulovou rysku. Zkoušený vzorek byl upevněn pomocí páky. Poté byl u trubice s největším rozsahem (A) otevřen ventil plováčkového průtokoměru. Pomalu byl otevírán vzduchový ventil, po dobu než sloupec obarvené vody vystoupil v trubici pro měření tlakového spádu na požadovanou hodnotu. Odečetlo se množství protékajícího vzduchu a průtokoměru. Pro přesnější měření jsou k dispozici průtokoměry B, C, D. Při měření by měl být otevřen pouze jeden průtokoměr. Poté byl měřený vzorek uvolněn z páky, posunut a měření se opakovalo. Bylo provedeno 15 měření na jednom vzorku. Byla dodržena podmínka, aby místa zkoušení byla minimálně 3 cm od kraje.

Tab. 2 *Parametry pro výpočty*

Plocha měřeného vzorku [m²]	0,002
Hustota kapaliny v přístroji [kg·m⁻³]	998
Gravitační zrychlení [m·s⁻²]	9,82
Konstantní tlak [Pa]	39,24

Tlakový spád

- přepočet výšky vodního sloupce z m na tlak Pa

$$\Delta p = h \cdot \rho \cdot g \quad (29)$$

kde ρ je hustota [kg·m⁻³], h je výška vodního sloupce [m], g je hodnota gravitačního zrychlení 9,82 m·s⁻².

Přepočet jednotek u toku vzduchu Q

- z naměřených l·hod⁻¹ přepočteme na m³·s⁻¹

$$\frac{l}{hod} = \frac{10^{-3} m^3}{3600 s} = \frac{0.001}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} \quad (30)$$

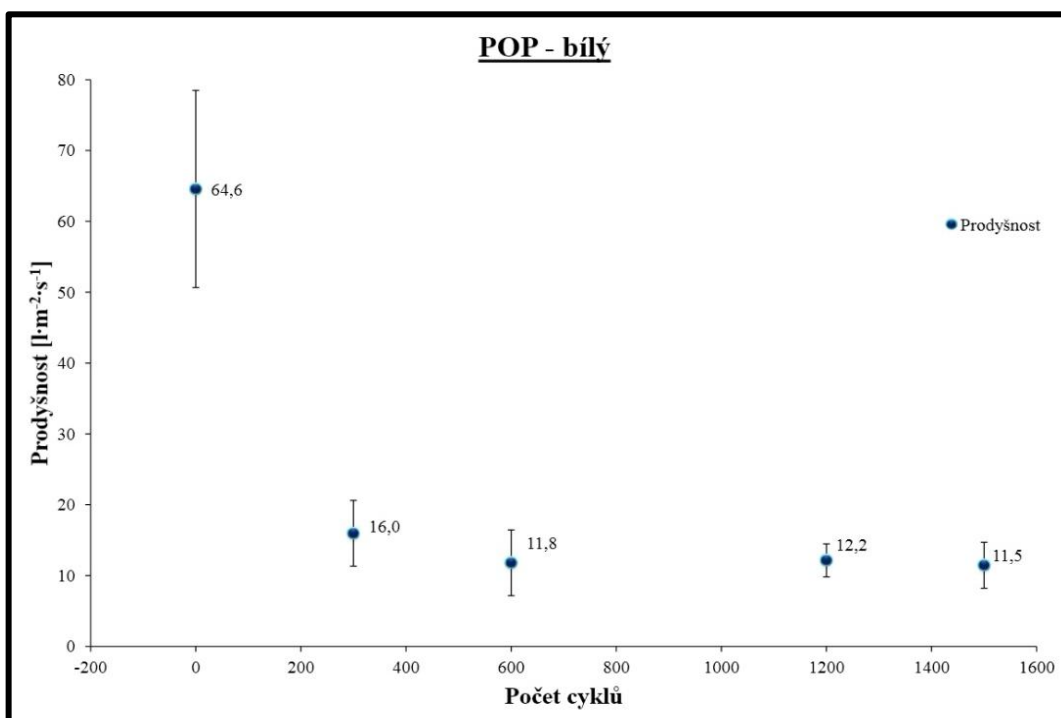
Prodyšnost

Pro charakteristiku propustnosti textilií se používá dále kromě tlakového spádu i prodyšnost, která je měřená při konstantním tlakovém spádu určeným příslušnou normou

$$Pr = \frac{Q}{A} \quad (32)$$

kde Pr je prodyšnost [$l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$], Q je tok vzduchu [$m^3 \cdot sec^{-1}$], A je plocha vrstvy kolmá ke směru toku [m^2].

8.4.3 Vyhodnocení a diskuze výsledků



Obr. 22 Graf závislosti prodyšnosti na počtu cyklů (POP bílý)

Graf (**obr. 22**) nám ukazuje závislost prodyšnosti na počtu cyklů. Během prvních 300 cyklů dochází k rychlému poklesu prodyšnosti způsobené zanesením filtru kaolinem. Nárůst prodyšnosti okolo 1200. cyklu mohl být způsoben manipulací při převozu ze závodu do laboratoře.

8.4.4 Shrnutí naměřených dat POP bílý

Naměřené hodnoty průtoku Q a vypočtené hodnoty prodyšnosti Pr pro materiál POP bílý jsou uvedeny v **tab. 3 – 7**. Tabulky jsou řazeny podle cyklů. U každé tabulky jsou uvedeny parametry vypočtené Hornových postupem. Kompletní výpočtu a tabulky jsou uvedeny v příloze.

Tab. 3 Naměřená a vypočtená data pro POP – bílý – před filtrací

POP bílý – začátek		
Počet měření	Průtok Q [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	Prodyšnost Pr [$\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]
1	360	50,0
2	380	52,8
3	380	52,8
4	390	54,2
5	405	56,3
6	410	56,9
7	420	58,3
8	420	58,3
9	440	61,1
10	480	66,7
11	520	72,2
12	540	75,0
13	540	75,0
14	550	76,4
15	580	80,6
pivotová polosuma P_L	465	64,6
pivotové rozpětí R_L	150	20,8
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	364,8	50,7
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	565,2	78,5

Tab. 4 Naměřená a vypočtená data pro POP – bílý – 300 cyklů

POP bílý – 300 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod ⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m ⁻² ·s ⁻¹]
1	80	11,1
2	85	11,8
3	85	11,8
4	90	12,5
5	95	13,2
6	100	13,9
7	110	15,3
8	115	16,0
9	120	16,7
10	125	17,4
11	130	18,1
12	140	19,4
13	145	20,1
14	150	20,8
15	160	22,2
pivotová polosuma P_L	115	16,0
pivotové rozpětí R_L	50	6,9
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	81,6	2,3
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	148,4	11,3

Tab. 5 Naměřená a vypočtená data pro POP – bílý – 600 cyklů

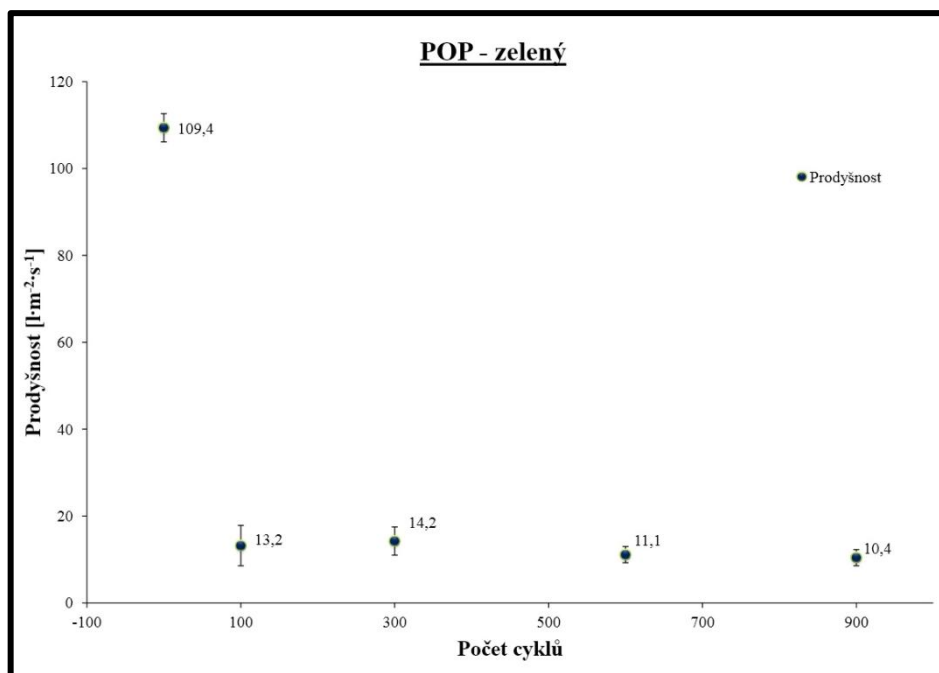
POP bílý – 600 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod ⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m ⁻² ·s ⁻¹]
1	45	6,3
2	60	8,3
3	60	8,3
4	60	8,3
5	60	8,3
6	70	9,7
7	70	9,7
8	75	10,4
9	75	10,4
10	80	11,1
11	90	12,5
12	110	15,3
13	110	15,3
14	120	16,7
15	130	18,1
pivotová polosuma P_L	85	11,8
pivotové rozpětí R_L	50	6,9
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	1,7	1,7
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	51,6	7,2

Tab. 6 Naměřená a vypočtená data pro POP – bílý – 1200 cyklů

POP bílý – 1200 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m⁻²·s⁻¹]
1	60	8,3
2	70	9,7
3	70	9,7
4	75	10,4
5	75	10,4
6	75	10,4
7	80	11,1
8	80	11,1
9	85	11,8
10	85	11,8
11	90	12,5
12	100	13,9
13	110	15,3
14	115	16,0
15	130	18,1
pivotová polosuma P_L	87,5	12,2
pivotové rozpětí R_L	25	3,5
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	3,5	3,5
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	70,8	9,8

Tab. 7 Naměřená a vypočtená data pro POP – bílý – 1500 cyklů

POP bílý – 1500 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	Prodyšnost Pr [$\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]
1	50	6,9
2	60	8,3
3	65	9,0
4	65	9,0
5	70	9,7
6	70	9,7
7	80	11,1
8	80	11,1
9	80	11,1
10	85	11,8
11	95	13,2
12	100	13,9
13	110	15,3
14	120	16,7
15	130	18,1
pivotová polosuma P_L	82,5	11,5
pivotové rozpětí R_L	35,0	4,9
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	59,1	8,2
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	105,9	14,7



Obr. 23 Graf závislosti prodyšnosti na počtu cyklů (POP zelený)

Graf (**obr. 23**) nám ukazuje velice rychlý pokles prodyšnosti během prvních 100 cyklů. Poté dochází k ustálení, změna prodyšnosti není už poté tak velká jako v tomto případě.

8.4.5 Shrnutí naměřených dat POP zelený

Naměřené hodnoty průtoku Q a vypočtené hodnoty prodyšnosti Pr pro materiál POP zelený jsou uvedeny v **tab. 8 – 12**. Tabulky jsou řazeny podle cyklů. U každé tabulky jsou uvedeny parametry vypočtené Hornových postupem. Kompletní výpočtu a tabulky jsou uvedeny v příloze.

Tab. 8 Naměřená a vypočtená data pro POP zelený – před filtrací

POP zelený – začátek		
Počet měření	Průtok Q [$\text{l}\cdot\text{hod}^{-1}$]	Prodyšnost Pr [$\text{l}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]
1	740	102,8
2	750	104,2
3	760	105,6
4	770	106,9
5	775	107,6
6	775	107,6
7	780	108,3
8	780	108,3
9	800	111,1
10	800	111,1
11	800	111,1
12	805	111,8
13	810	112,5
14	810	112,5
15	825	114,6
pivotová polosuma P_L	788	109,4
pivotové rozpětí R_L	35	4,9
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	764	106,1
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	811	112,6

Tab. 9 Naměřená a vypočtená data pro POP – zelený – 100 cyklů

POP zelený – 100 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod ⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m ⁻² ·s ⁻¹]
1	55	7,6
2	60	8,3
3	70	9,7
4	70	9,7
5	70	9,7
6	80	11,1
7	80	11,1
8	85	11,8
9	85	11,8
10	100	13,9
11	120	16,7
12	120	16,7
13	130	18,1
14	140	19,4
15	180	25,0
pivotová polosuma P_L	95	13,2
pivotové rozpětí R_L	50	6,9
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	62	8,6
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	128	17,8

Tab. 10 Naměřená a vypočtená data pro POP – zelený – 300 cyklů

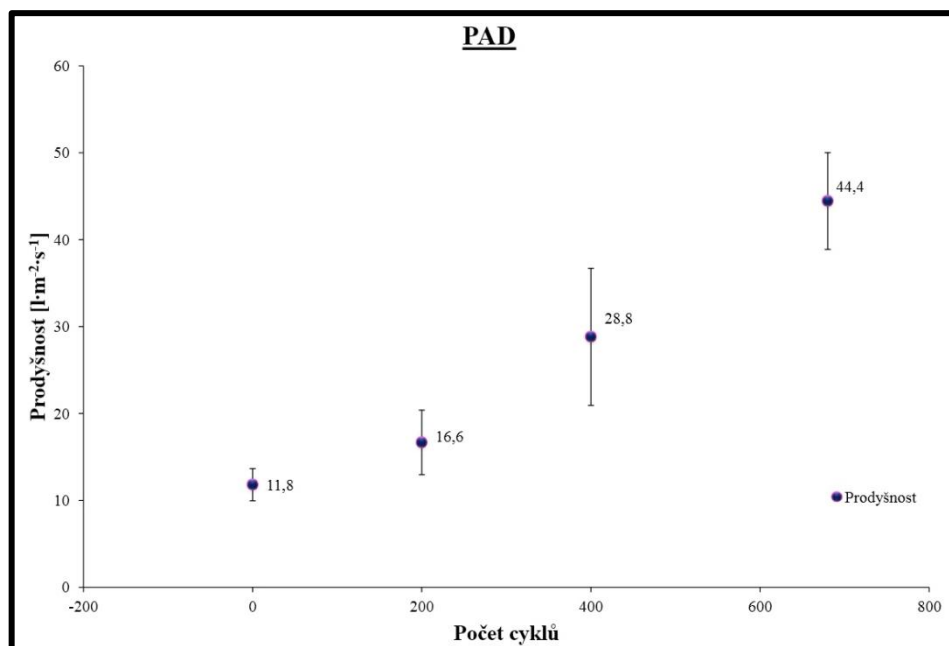
POP zelený – 300 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m⁻²·s⁻¹]
1	65	9,0
2	70	9,7
3	85	11,8
4	85	11,8
5	90	12,5
6	90	12,5
7	95	13,2
8	100	13,9
9	100	13,9
10	100	13,9
11	110	15,3
12	120	16,7
13	120	16,7
14	130	18,1
15	140	19,4
pivotová polosuma P_L	103	14,2
pivotové rozpětí R_L	35	4,9
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	79	11,0
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	126	17,5

Tab. 11 Naměřená a vypočtená data pro POP – zelený – 500 cyklů

POP zelený – 500 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod ⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m ⁻² ·s ⁻¹]
1	65	9,0
2	65	9,0
3	70	9,7
4	70	9,7
5	75	10,4
6	75	10,4
7	75	10,4
8	85	11,8
9	85	11,8
10	85	11,8
11	85	11,8
12	90	12,5
13	90	12,5
14	105	14,6
15	110	15,3
pivotová polosuma P_L	80	11,1
pivotové rozpětí R_L	20	2,8
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	67	9,3
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	93	13,0

Tab. 12 Naměřená a vypočtená data pro POP – zelený – 900 cyklů

POP zelený – 900 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m⁻²·s⁻¹]
1	50	6,9
2	65	9,0
3	65	9,0
4	65	9,0
5	70	9,7
6	75	10,4
7	75	10,4
8	80	11,1
9	80	11,1
10	85	11,8
11	85	11,8
12	85	11,8
13	90	12,5
14	110	15,3
15	140	19,4
pivotová polosuma P_L	75	10,4
pivotové rozpětí R_L	20	2,8
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	62	8,6
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	88	12,3



Obr. 24 Graf závislosti prodyšnosti na počtu cyklů (PAD)

Na grafu na **obr. 24** je možné vidět opačný trend oproti grafům na **obr. 22** a **obr. 23**. V případě PAD tkaniny dochází k tomu, že s počtem cyklů naopak roste prodyšnost materiálu. Je to způsobené tím, že u tkanin dochází k rozšíření pórů působením kaolinitu obsahující křemík, který svým ostrým povrchem narušuje strukturu pórů.

8.4.6 Shrnutí naměřených dat PAD

Naměřené hodnoty průtoku Q a vypočtené hodnoty prodyšnosti Pr pro materiál POP bílý jsou uvedeny v **tab. 13 – 16**. Tabulky jsou řazeny podle cyklů. U každé tabulky jsou uvedeny parametry vypočtené Hornových postupem. Kompletní výpočty a tabulky jsou uvedeny v příloze.

Tab. 13 Naměřená a vypočtená data pro PAD – před filtrací

PAD – začátek		
Počet měření	Průtok Q [l·hod ⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m ⁻² ·s ⁻¹]
1	65	9,0
2	65	9,0
3	70	9,7
4	75	10,4
5	80	11,1
6	80	11,1
7	80	11,1
8	85	13,9
9	90	13,9
10	90	13,9
11	95	13,2
12	95	13,2
13	100	18,1
14	110	18,1
15	130	18,1
pivotová polosuma P_L	85	11,8
pivotové rozpětí R_L	20	2,8
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	72	10,0
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	98	13,7

Tab. 14 Naměřená a vypočtená data pro PAD – 200 cyklů

PAD – 200 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m⁻²·s⁻¹]
1	75	10,4
2	90	12,5
3	90	12,5
4	100	13,9
5	105	14,6
6	105	11,1
7	105	11,1
8	115	13,9
9	120	13,9
10	125	13,9
11	130	18,1
12	140	19,4
13	140	18,1
14	150	18,1
15	170	23,6
pivotová polosuma P_L	120	16,7
pivotové rozpětí R_L	40	5,6
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	93	13,0
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	147	20,4

Tab. 15 Naměřená a vypočtená data pro PAD – 400 cyklů

PAD – 400 cyklů		
Počet měření	Průtok Q [l·hod ⁻¹]	Prodyšnost Pr [l·m ⁻² ·s ⁻¹]
1	150	20,8
2	160	22,2
3	165	22,9
4	165	22,9
5	170	23,6
6	180	25,0
7	185	25,7
8	190	26,4
9	200	27,8
10	220	30,6
11	240	33,3
12	250	34,7
13	260	36,1
14	265	36,8
15	270	37,5
pivotová polosuma P_L	208	28,8
pivotové rozpětí R_L	85	11,8
95% IS střední hodnoty – dolní mez ISD	151	20,9
95% IS střední hodnoty – horní mez ISH	264	36,7

Tab. 16 Naměřená a vypočtená data pro PAD – 680 cyklů

PAD – 680 cyklů		
Počet měření	Průtok [$\text{l} \cdot \text{hod}^{-1}$]	Prodyšnost [$\text{l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]
1	280	38,9
2	285	39,6
3	285	39,6
4	290	40,3
5	300	41,7
6	305	42,4
7	305	42,4
8	310	43,1
9	330	45,8
10	330	45,8
11	350	48,6
12	350	48,6
13	400	55,6
14	425	55,6
15	450	62,5
pivotová polosuma	320	44,4
pivotové rozpětí	60	8,3
95% IS střední hodnoty – dolní mez	280	38,9
95% IS střední hodnoty – horní mez	360	50,0

8.5 Pokrytí plochy

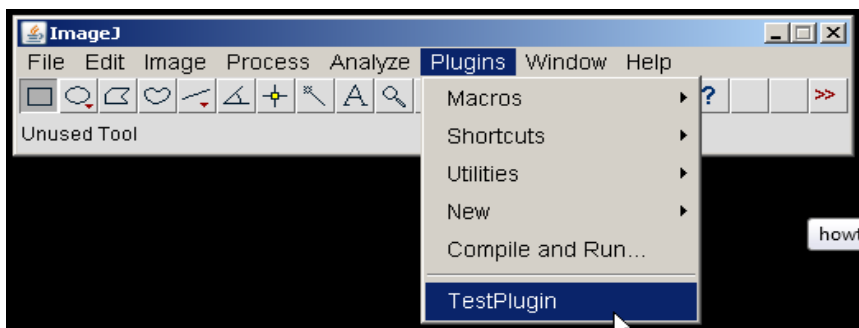
Filtrační plachetky umístěné v kalolisech jsou každým cyklem průběžně opotřebovávány a zanášeny. Žádaný kaolin se usazuje na povrchu plachetky a po každém cyklu se nános neboli filtrační koláč odstraní. Plachetky se ostříkají vodními hadicemi a cyklus se opakuje. Při měření plochy pokrytí záleží na počtu absolvovaných cyklů filtrační plachetky.

8.5.1 Příprava vzorků

K dispozici byly tři plachetky ze dvou různých materiálů (PAD, POP). Na razícím stroji bylo vyraženo 14 vzorků ve tvaru kruhu. Připravené vzorky byly použity z předešlých použitých vzorků a to z důvodu znehodnocení filtrační plachetky. Vyražené vzorky z filtračních plachetek měly na svém povrchu různé vrstvy kaolinu, které byly závislé na počtu cyklů. Jeden cyklus trvá dvě hodiny.

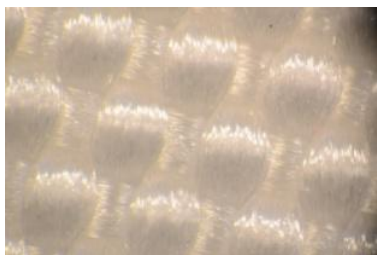
8.5.2 Postup měření

Vyražené vzorky byly srovnány podle od čistého vzorku až po vzorek plachetky na konci životnosti. Byly umístěny pod mikroskop a vyfoceny. Programem ImageJ (**obr. 25**) byla na mikroskopických snímcích naměřena plocha pokrytá nánosem filtrátu. Naměřená data byla převedena do programu Microsoft Excel, ve kterém byla vypočítána plocha pokrytá nánosem filtrátu. Tato hodnota by měla napovídat o schopnosti regenerace filtru.



Obr. 25 Ukázka programu ImageJ

Ukázka pokrytí plochy PAD



Obr. 26 Vzorek PAD bez nánosu kaolinu



Obr. 27 Vzorek PAD po 200 cyklech

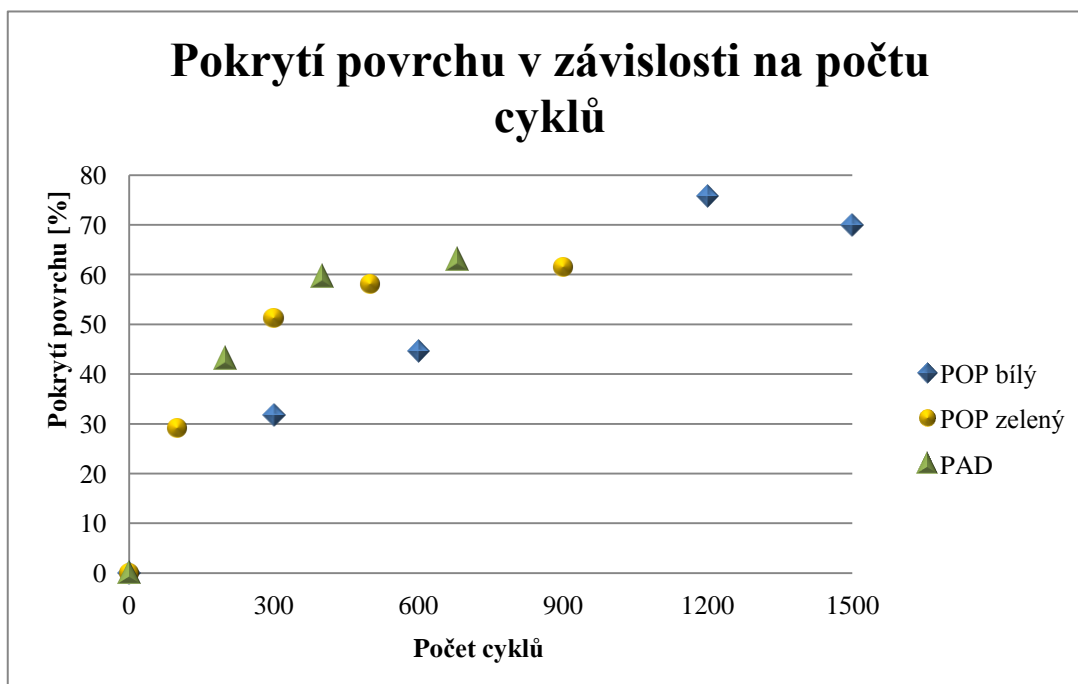


Obr. 28 Vzorek PAD po 400 cyklech



Obr. 29 Vzorek PAD po 680 cyklech (na konci životnosti)

Na **obr. 26** je vidět čistý vzorek bez nánosu kaolinu. Jeho pokrytí plochy nánosem kaolinu je tedy 0 %. Na **obr. 27** je vzorek po 200 cyklech a lze na něm již pozorovat slabou vrstvu nánosu. **obr. 28** prezentuje vzorek PAD po 400 cyklech a na snímku je již zjevné pokrytí nánosem ve větších plochách. Poslední snímek (**obr. 29**) je pokryt velmi silnou vrstvou kaolinu, která při hrubší manipulaci odpadá.



Obr. 30 Graf závislosti pokrytí povrchu na počtu cyklů

Z grafu (**obr. 30**) je patrné, že roste pokrytí povrchu filtru s počtem cyklů. Tkanina PAD a netkaná textilie POP zelená mají přibližně stejnou tendenci růstu pokrytí plochy. Netkaná textilie POP bílá má pozvolnější rychlost pokrytí a okolo 1200 cyklů dosahuje svého maxima. Nepatrný pokles procentuálního pokrytí plochy kaolinem je způsoben vlivem manipulace se vzorkem při vyndávání z kaolisu, převozu a měření.

8.6 Vyhodnocení experimentální části

V první části experimentu byla změřena velikost pórů pomocí bublinkové metody. Tato metoda sloužila ke zjištění největšího a průměrného póru a díky ní lze určit rozměr částic, které se na filtru zachytí. Z naměřených hodnot vychází, že tkanina PAD má mnohem menší velikost největšího i průměrného póru. Z výsledků měření vychází, že tkanina PAD zachytí více částic než netkaný materiál POP bílý i POP zelený.

V druhé části byla měřena prodyšnost. Z naměřených dat byla spočítána statistika (Hornův postup) jako je pilotová polosuma, pivotové rozpětí a 95% interval spolehlivosti střední hodnoty. Pro zjištění potenciální velikosti chyby měření byly sestrojeny chybové úsečky, které ukázaly, že rozdíly mezi vzorky nejsou ve většině měření statisticky významné, intervaly se vzájemně překrývají. Toto však neplatí pro data u POP, kde mezi měřením před filtrací a ostatními měřeními je statisticky významný rozdíl. U PAD tomu tak není.

V poslední části experimentu bylo změřeno pokrytí plochy filtru nánosem kaolinu.

Z vyhodnocených dat vyplývá, že tkanina PAD a netkaná textilie POP zelená mají podobnou tendenci růstu pokrytí plochy filtru. Netkaná textilie POP bílý měl sice pomalejší, ale stále zvyšující charakter pokrytí. V největším bodě pokrytí byl větší o 15% oproti tkanině PAD a netkané textilii POP zelený. Při dosažení nejvyššího bodu poté klesl, což mohlo být následkem manipulace se vzorky.

9 Závěr

Cílem této práce bylo prozkoumat vývoj strukturních parametrů filtračního materiálu v průběhu jeho použití. Porovnat nový materiál, v našem případě tkaný a netkaný materiál, za účelem nalezení nejvhodnějšího materiálu s ohledem na požadované vlastnosti, životnost a tyto informace předat k porovnání s dalšími parametry, např. s ekonomickou stránkou.

Byla provedena literární rešerše, která byla věnována filtraci se zaměřením na filtraci kapalin. Jsou uvedeny parametry filtrace, filtrační zařízení a filtrační materiály.

Vlastnosti filtrů jsou ovlivněny strukturou, složením a povrchovou úpravou filtračního média, suspenzí a zařízením, na kterém se filtrace provádí.

V experimentální části se pomocí měření velikosti porů, prodyšnosti a pokrytí plochy filtru nánosem zkoumala vhodnost použití jiného materiálu.

U měření velikosti porů lze z grafů vyčíst, že velikost porů u tkaniny je menší, tudíž bude kvalitněji filtrovat menší částice. Z hlediska účinnosti je lepší tkanina. Konkrétně u grafu průměrné velikosti porů se u tkaniny jedná zhruba o velikosti mezi 20 a 30 mikrometrů a u netkané textilie kolem 80 mikrometrů. Velikost zachycených částic je pro výrobce kaolinu důležitá z hlediska hrubosti kaolinu a následně dalšího zpracování.

U tkaniny se prodyšnost v čase zásadně nemění, ale u netkané textilie je změna prodyšnosti na začátku cyklů výrazná. Netkané textilie mají na začátku cyklu větší prodyšnost s menším odporem. Na konci životnosti jsou z hlediska prodyšnosti všechny měřené materiály na stejných hodnotách.

Dále byla měřena plocha pokrytá nánosem filtrátu. Plocha pokrytá nánosem filtrátu se zvyšuje s narůstajícím počtem cyklů. Z grafu vyplývá, že tkanina PAD a netkaná textilie POP zelený mají podobnou povahu růstu pokrytí plochy filtru. Netkaná textilie POP bílý měla pomalejší, ale stále zvyšující se charakter pokrytí. V největším bodě pokrytí byla větší o 15 % oproti tkanině PAD a netkané textilii POP zelený.

Z naměřených hodnot je patrné, že je možné nahradit stávající materiál, ale nebyly zde zohledněny i případné další hodnotící parametry, na které odběratel bere ohledy, jako

například přilnavost filtrátu na filtrační plachetku, životnost filtrační plachetky a v době, kdy v každém odvětví roste konkurence i ekonomická stránka.

Tyto další parametry jsou subjektivní a jejich podíl na celkovém hodnocení je v plné kompetenci daného subjektu.

Výsledky měření potvrdily, že tkaný materiál PAD je vhodným materiálem do výrobního procesu v keramických závodech. Naměřené hodnoty u velikosti porů jsou lepší než u dosud používaného netkaného materiálu POP. Výsledky měření poukazují na výhodnost filtračních schopností tkaného materiálu, což je podnět k dalšímu zkoumání tkaných filtrů a jejich prodloužení životnosti v daném odvětví.

Doporučuji se zaměřit na tkaniny s hladším povrchem, aby docházelo k lepšímu odpádávání filtračního koláče a menší abrazivnosti materiálu. Dále porovnat v tkanině jemnosti dtex materiálů například 940 a 1880 dtex. Pro zvýšení životnosti by se mohla vyzkoušet keprová vazba 2/2, která má oproti plátnové vazbě výhodu v méně vystupujících vazných bodech, čímž dochází k nižšímu opotřebení materiálu.

Seznam použité literatury

- [1] Robert H. Perry and Don W. Green. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. McGraw–Hill, 8 edition, 2007.
- [2] HUTTEN, Irwin. *Handbook of Nonwoven filter Media*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-1-85617-441-1.
- [3] HRŮZA, Jakub. *Zlepšování filtračních vlastností vláknenných materiálů*. Liberec, 2006. Disertační práce. TUL.
- [4] SUTHERLAND, Ken. *Filters and filtration handbook*. 5. Vyd. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008. ISBN 978-1-8561-7464-0.
- [5] HRŮZA, Jakub. Filtrace a filtrační materiály. *Ft.tul.cz* [online]. [cit. 2014-08-31]. Dostupné z <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nove/dokumenty/studmaterialy/filtr.pdf>
- [6] ŠVÉDOVÁ, J. *Technické textilie*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury ve Středisku interních publikací, 1978.
- [7] ANON. Kalolisy. *Envites.cz* [online]. ©2014 [cit. 2014-08-30]. Dostupné z <http://www.envites.cz/cs/produkty/kalolisy#oblasti>
- [8] ANON. Úvod. *Zitex-filtry.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-08-30]. Dostupné z: <http://www.zitex-filtry.cz/>
- [9] ANON. Vložky a pásy do odstředivek. *Zitex-filtry.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-08-30]. Dostupné z: <http://www.zitex-filtry.cz/vyrobní-sortiment/filtrace-a-technická-konfekce/vlozky-a-pasy-do-odstredivek/>
- [10] ANON. Úvod. *Zitex-filtry.cz* [online]. 2014 [cit.2014-08-30]. Dostupné z: <http://www.zitex-filtry.cz/>
- [11] ANON. Filtrační nuče. *Zitex-filtry.cz* [online]. 2014 [cit.2014-08-30]. Dostupné z: <http://www.zitex-filtry.cz/vyrobní-sortiment/filtrace-a-technická-konfekce/filtracni-nuce/>
- [12] ANON. O společnosti. *lb-minerals.cz* [online]. 2014 [cit.2014-08-30]. Dostupné z: <http://www.lb-minerals.cz/cz/o-spolecnosti>
- [13] ANON. Přístroje. *ft.tul.cz* [online]. 2014 [cit.2014-08-30]. Dostupné z: http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/zkouseni_textilii/ulohy/prodysnost/pristroje8.htm

- [14] ČSN EN ISO 5084. Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků, 1998.
- [15] BERAN, J. *Plavení kaolinu*. Stráž – tiskařské závody n. p. Plzeň, 1984
- [16] DOSTÁLOVÁ, M., KŘIVÁNKOVÁ, M. *Základy textilní a oděvní výroby*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-7083-504-4
- [17] ANON. Spunlace. *ft.tul.cz* [online]. 2014 [cit.2014-11-10]. Dostupné z: http://www.ft.tul.cz/depart/knt/web/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=323&Itemid=36
- [18] ANON. Filtrace. *Users.fs.cvut.cz* [online]. 2014 [cit.2014-11-20]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/tomas.jirout/vyuka/hmz/hmz4.pdf>
- [19] PICH, J. *Teorie filtrace aerosolů vláknitými a membránovými filtry*. Praha, 1964. Disertační práce. ČSAV. Ústav fyzikální chemie.
- [20] GOOIJER, H. *Flow resistance of textile materials*. Thesis UT Enschede, 1998. ISBN 90-36511240
- [21] NECKÁŘ. B. *Morfologie a strukturní mechanika obecných vláknenných útvarů*. TU Liberec, 1998. ISBN 80-7083-473-0
- [22] ANON. Odstředivka. *cs.wikipedia.org* [online]. 2014 [cit.2014-12-20]. Dostupné z :<http://cs.wikipedia.org/wiki/Odst%C5%99edivka>
- [23] ANON. Vakuový filtr. *is.mendelu.cz* [online]. 2014 [cit.2014-12-10]. Dostupné z : https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=58529
- [24] ANON. Přístroj Makropulos 55. *int.cxi.tul.cz* [online]. 2015 [cit.2015-04-15]. Dostupné z : <https://int.cxi.tul.cz/cs/node/93>
- [25] ANON. Analýza malých výběrů. *meloun.upce.cz* [online]. 2015 [cit.2015-04-18]. Dostupné z: <http://meloun.upce.cz/docs/lecture/chemometrics/slidy/35horn.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Filtrační nuč [1]

Obrázek 2: Povrchová filtrace [5]

Obrázek 3: Hloubková filtrace [5]

Obrázek 4: Rozdělení filtrace podle velikosti částic [1]

Obrázek 5: Schéma plochého filtru [5]

Obrázek 6: Schéma skládaného filtru [5]

Obrázek 7: Schéma kapsového filtru [5]

Obrázek 8: Schéma svíčkového filtru [5]

Obrázek 9: Schéma hadicového filtru [5]

Obrázek 10: Schéma kalolisu [7]

Obrázek 11: Schéma řezu odstředivky [22]

Obrázek 12: Schéma vakuového filtru [23]

Obrázek 13: Logo firmy Zitex [8]

Obrázek 14: Logo firmy LB Minerals [12]

Obrázek 15: Ukázka netkané textilie - bílá

Obrázek 16: Ukázka netkané textilie - zelená

Obrázek 17: Ukázka tkaniny

Obrázek 18: Přístroj Makropulos 55 [24]

Obrázek 19: Graf závislosti největšího póru na počtu cyklů

Obrázek 20: Graf závislosti průměrného póru na počtu cyklů

Obrázek 21: Přístroj METEFEM typ FF – 12/A [13]

Obrázek 22: Graf závislosti prodyšnosti na počtu cyklů (POP bílý)

Obrázek 23: Graf závislosti prodyšnosti na počtu cyklů (POP zelený)

Obrázek 24: Graf závislosti prodyšnosti na počtu cyklů (PAD)

Obrázek 25: Ukázka programu ImageJ

Obrázek 26: Vzorek PAD bez nánosů kaolinu

Obrázek 27: Vzorek PAD po 200 cyklech

Obrázek 28: Vzorek PAD po 400 cyklech

Obrázek 29: Vzorek PAD po 680 cyklech

Obrázek 30: Graf závislosti pokrytí povrchu na počtu cyklů

Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti filtračních materiálů

Tab. 2 Parametry pro výpočty

Tab. 3 Naměřená a vypočítaná data pro POP – bílý – před filtrací

Tab. 4 Naměřená a vypočítaná data pro POP – bílý – 300 cyklů

Tab. 5 Naměřená a vypočítaná data pro POP – bílý – 600 cyklů

Tab. 6 Naměřená a vypočítaná data pro POP – bílý – 1200 cyklů

Tab. 7 Naměřená a vypočítaná data pro POP – bílý – 1500 cyklů

Tab. 8 Naměřená a vypočítaná data pro POP – zelený – před filtrací

Tab. 9 Naměřená a vypočítaná data pro POP – zelený – 100 cyklů

Tab. 10 Naměřená a vypočítaná data pro POP – zelený – 300 cyklů

Tab. 11 Naměřená a vypočítaná data pro POP – zelený – 500 cyklů

Tab. 12 Naměřená a vypočítaná data pro POP – zelený – 900 cyklů

Tab. 13 Naměřená a vypočítaná data pro PAD – před filtrací

Tab. 14 Naměřená a vypočítaná data pro PAD – 200

Tab. 15 Naměřená a vypočítaná data pro PAD – 400

Tab. 16 Naměřená a vypočítaná data pro PAD – 680

Význam použitých značek

E	[1]	Efektivnost filtru
G1	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$	Hmotnostní proud částic před filtrem
G2	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$	Hmotnostní proud částic za filtrem
G3	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$	Hmotnostní množství částic zachycených filtrem za určitý čas
P	[1]	Průnik filtru
Δp	[Pa]	Celkový tlakový spád
p1	[Pa]	Tlak před filtrem
p2	[Pa]	Tlak za filtrem
d	[m]	Průměr vlákna (ekvivalentní průměr vlákna)
Pr	$[1 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}]$	Prodyšnost
V_c	$[\text{m}^3]$	Celkový objem vlákenného útvaru
V	$[\text{m}^3]$	Objem vláken
μ	[1]	Zaplnění vlákenného útvaru
Ψ	[1]	Porozita
L	[m]	Úhrnná délka všech vláken
A	$[\text{m}^2]$	Povrch vláken
ρ	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	Měrná hmotnost (hustota) vláken
d_p	[m]	Ekvivalentní průměr póru (analogie ekvivalentního průměru vláken)
q_p	[1]	Tvarový faktor póru (analogie tvarového faktoru vláken)
q	[1]	Tvarový faktor vláken
p	[m]	Obvod příčného řezu vlákna
σ	[1]	Součinitel poréznosti filtračního materiálu
A_p	$[\text{m}^2]$	Povrch pórů
V_p	$[\text{m}^3]$	Objem pórů

L_p	[m]	Délka pórových kapilár ve vlákněném útvaru (analogue úhrnné délky vláken)
p_p	[m]	Obvod příčného řezu pórem
t	[mm]	Tloušťka textilie

Přílohy
Hornova postup

POP bílý	0	300	600	1200	1500
Hloubka pivotu H	4	4	4	4	4
Dolní pivot x_D	54,2	12,5	8,3	10,4	9,0
Horní pivot x_H	75,0	19,4	15,3	13,9	13,9
Pivotová polotma P_L	64,6	16,0	11,8	12,2	11,5
Pivotové rozpětí R_L	20,8	6,9	6,9	3,5	4,9
Náhodná veličina k testování T_L	3,1	2,3	1,7	3,5	2,4
95% IS střední hodnoty DOLNÍ	50,7	11,3	7,2	9,8	8,2
95% IS střední hodnoty HORNÍ	78,5	20,6	16,4	14,5	14,7

POP zelený	0	300	600	1200	1500
Hloubka pivotu H	0	100	300	500	900
Dolní pivot x_D	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Horní pivot x_H	106,9	9,7	11,8	9,7	9,0
Pivotová polotma P_L	111,8	16,7	16,7	12,5	11,8
Pivotové rozpětí R_L	109,4	13,2	14,2	11,1	10,4
Náhodná veličina k testování T_L	4,9	6,9	4,9	2,8	2,8
95% IS střední hodnoty DOLNÍ	22,5	1,9	2,9	4,0	3,8
95% IS střední hodnoty HORNÍ	106,1	8,6	11,0	9,3	8,6

PAD	0	200	400	680
Hloubka pivotu H	4	4	4	4
Dolní pivot x_D	10,4	13,9	22,9	40,3
Horní pivot x_H	13,2	19,4	34,7	48,6
Pivotová polotma P_L	11,8	16,7	28,8	44,4
Pivotové rozpětí R_L	2,8	5,6	11,8	8,3
Náhodná veličina k testování T_L	4,3	3,0	2,4	5,3
95% IS střední hodnoty DOLNÍ	10,0	13,0	20,9	38,9
95% IS střední hodnoty HORNÍ	13,7	20,4	36,7	50,0